
EEE
العربية



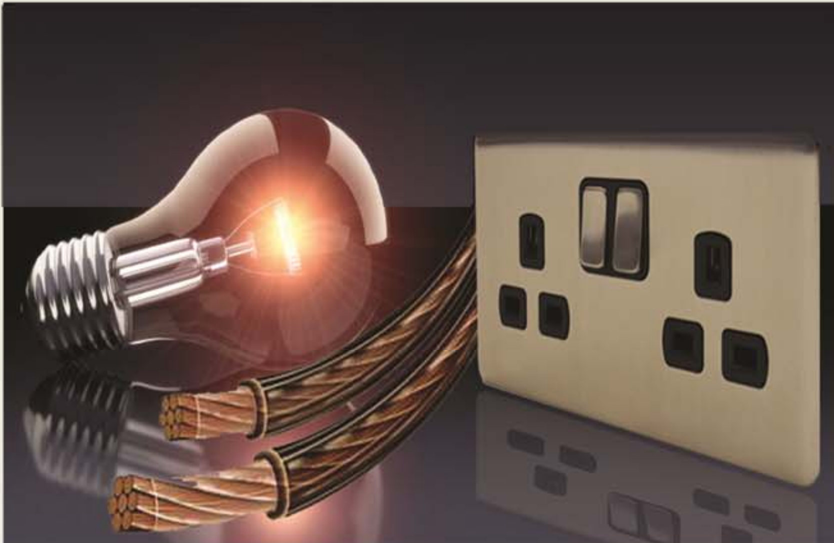
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

التحكم الإلكتروني في الآلات (نظري)

في تخصص آلات ومعدات كهربائية



مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن ، التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان ، من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني ،بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **التحكم الإلكتروني في الآلات** " لمتدربي تخصص **آلات ومعدات كهربائية**" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلّ أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الفهـــرس

تمهيد

تحتل المحركات الكهربائية مكانة متميزة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى وسائل محركة (تحريك) متغيرة السرعة، وذلك لما تتميز به هذه المحركات من خصائص جيدة مثل إمكانية التحكم في السرعة خلال مدى تحكم واسع، ولقد ساعد على ذلك أيضاً التقدم التكنولوجي في صناعة المواد المغناطيسية ، بالإضافة إلى التقدم الهائل في دوائر إلكترونيات القدرة والتحكم فيها.

وتتكون منظومة الحركة (التحريك) الكهربائية كما في الشكل 1 من:

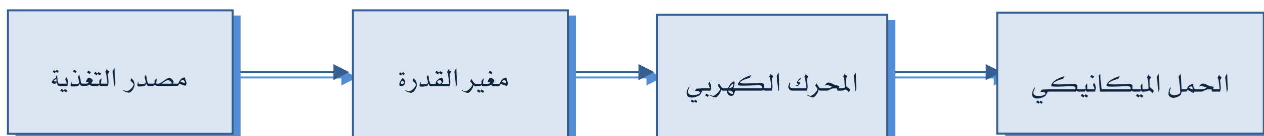
الحمل الميكانيكي (المضخة – والمروحة – والمخرطة ..... الخ)، وتعتمد العلاقة بين عزم الحمل وسرعته على نوع الحمل ، وهذه العلاقة مهمة جداً في تحديد نوع المحرك الكهربي المناسب لهذا الحمل.

المحرك الكهربي، يتحدد نوع المحرك الكهربي المناسب بناء على نوع الحمل الميكانيكي وطبيعته وعلى عدد من العوامل الأخرى مثل:

- مدى السرعة المطلوب العمل به .
- مدى صعوبة التحكم في السرعة أو تنظيمها .
- الكفاءة خلال مدى السرعة المعمول به .
- متطلبات بدء الحركة .
- طبيعة مكان التشغيل (نظيف – أو قابل للانفجار........إلخ) .

مغير القدرة، هناك العديد من مغيرات القدرة ويتم تحديد نوع المغير المناسب بناء على نوع المحرك وطبيعة مصدر التغذية

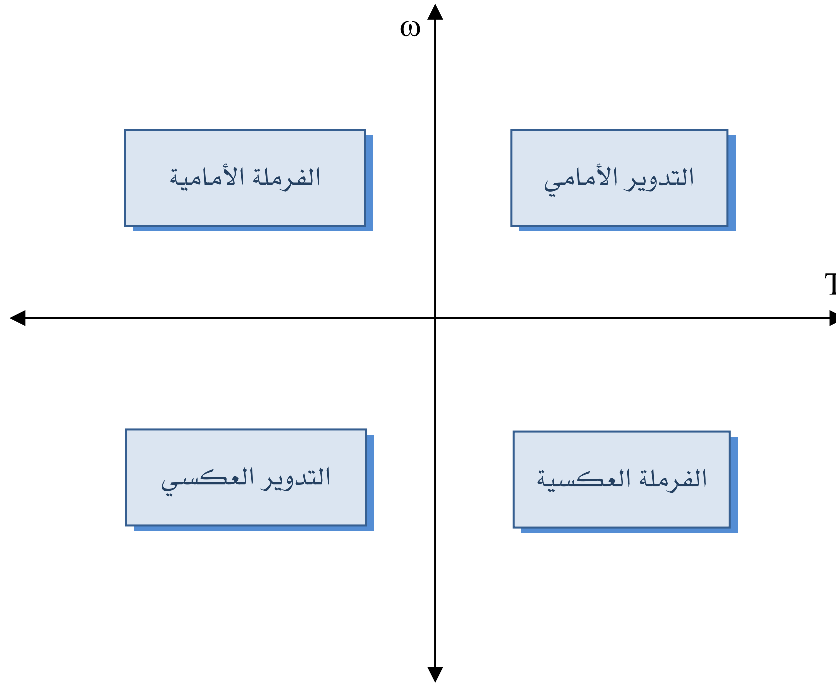
مصدر التغذية، حيث يتحدد نوع المغير بناء على مصدر التغذية المتاح وعلى نوع المحرك المستخدم.



الشكل (1)

مكونات منظومة التدوير الكهربائي

وكما أن العلاقة بين عزم الحمل وسرعة المحرك مهمة فإن العلاقة بين العزم المتولد وسرعته أيضاً مهمة ، ويجب أن تؤخذ في الاعتبار، وهناك أربع حالات لهذه العلاقة حسب ما هو موضح بالرسم في الشكل2 .



الشكل (2)

حالات التدوير المختلفة

في التدوير الأمامي (الربع الأول) يكون كل من العزم والسرعة موجبان ، أما في الفرملة الأمامية (الربع الثاني) فيعبر عن حالة يكون العزم سالباً والسرعة موجبة، بينما تمثل حالة التدوير العكسي (الربع الثالث) العزم والسرعة السالبين ، ويكون المحرك في هذه الحالة مماثلاً لحالة التدوير الأمامي، أما الفرملة العكسية (الربع الرابع) فيمكن أن تنتج عندما يكون المحرك يعمل في الربع الثالث ثم تولدت فرملة بأي من الطرق المعروفة والتي سيتم شرحها فيما بعد.

تتكون هذه الحقيبة من ست وحدات تدريبية ، حيث يتم فيها دراسة طرق التحكم الإلكتروني في المحركات الكهربائية المختلفة، وحتى يتسنى لنا ذلك فسنقوم في البداية بمراجعة خصائص المحركات الكهربائية المختلفة حيث نناقش تلك الخصائص في الوحدة

التدريبية الأولى، ثم نعرض مراجعة سريعة لدوائر إلكترونيات القدرة - التي من الممكن الاستفادة منها في عملية التحكم في المحركات الكهربية في الوحدة التدريبية الثانية. وتقدم الوحدة التدريبية الثالثة كيفية استخدام الموحدات المحكومة " Controlled Rectifiers" للتحكم في محركات التيار المستمر ، بينما تعرض الوحدة الرابعة استخدام مقطعات التيار المستمر " DC Chopper " للتحكم في محركات التيار المستمر. أما في الوحدة التدريبية الخامسة فيتم استعراض كيفية التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام حاكمات الجهد المتناوب " AC Voltage Controller " والعواكس" Inverters "، بالإضافة إلى التحكم في المحركات الحثية ذات العضو الملفوف باستعادة طاقة الانزلاق " Slip Power Recovery"، وفي الوحدة التدريبية السادسة نشرح كيفية التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه.

الوحدة الأولى

مراجعة على خواص المحركات الكهربائية المستخدمة في الصناعة

الهدف العام للوحدة: التعرف على أنواع المحركات الكهربائية والتمييز بين الخواص المختلفة لكل نوع.

الأهداف التفصيلية :

١. أن يميز المتدرب بين الأنواع المختلفة للمحركات الكهربائية.
٢. أن يعدد المتدرب مميزات وعيوب كل نوع منها.
٣. أن يرسم المتدرب العلاقة بين العزم والسرعة لكل من:
- محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة.
- محرك التيار المستمر من نوع التوالي.
- المحرك الحثي ثلاثي الأوجه.

الوحدة الأولى : مراجعة على خواص المحركات الكهربائية المستخدمة في الصناعة

تلعب المحركات الكهربائية دوراً مهماً في التطبيقات الصناعية ، وذلك لما تتميز به تلك المحركات من خصائص مهمة مثل سهولة التحكم فيها والسيطرة عليها وتنوعها بما يتناسب مع ظروف التشغيل المختلفة. ويمكن تقسيم هذه المحركات إلى نوعين أساسيين هما محركات التيار المستمر ومحركات التيار المتردد، وكل نوع منهما يمكن تقسيمه إلى عدة أنواع وسوف نستعرض في هذه الوحدة التدريبية خصائص أهم أنواع المحركات المستخدمة في الصناعة.

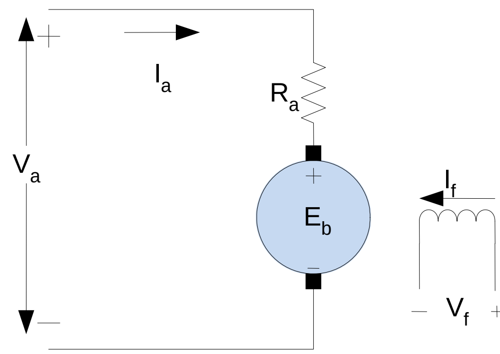
أولا: محركات التيار المستمر: DC Motors

تلعب محركات التيار المستمر دوراً رئيسياً في التطبيقات الصناعية الحديثة التي تتطلب سرعات متغيرة، وذلك لما تمتاز به هذه المحركات من عزم بدء عالي، ومدى تحكم واسع في السرعة، كما تتميز طرق التحكم فيها بالبساطة وسهولة التشغيل وقلة التكلفة. وعلى الجانب الآخر فإن هذه المحركات لها بعض العيوب مثل كبر الحجم، وثقل الوزن، كما أنها غالية الثمن وتحتاج إلى صيانة دورية، إضافة إلى أنها لا تصلح للتطبيقات ذات السرعات العالية ، أو التي تستخدم في الأماكن النظيفة ، أو الأماكن القابلة للانفجار.

وتنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين هما : محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة، ومحرك التيار المستمر ذي التغذية الذاتية. وينقسم محرك التيار المستمر ذي التغذية الذاتية إلى ثلاثة أنواع هي : محرك التوالي، ومحرك التوازي ، والمحرك المركب، ويعتبر محرك التوازي والمحرك المركب من المحركات ذات السرعة الثابتة ، لذا سوف نستعرض خواص كل من محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة ،ومحرك التوالي ،حيث يكثر استخدامهما كمحركات متغيرة السرعة، كما أن محرك التوالي يستخدم بكثرة في تطبيقات الجر الكهربائي.

محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة Separately Excited DC Motor

يمكن تمثيل محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة بدائرتين كهربيتين، إحداهما تمثل ملفات المنتج ،والأخرى تمثل ملفات المجال، كل دائرة منهما منفصلة عن الأخرى، ويتم تغذية كل دائرة منهما باستقلالية عن الدائرة الأخرى.



الشكل (1-1)

الدائرة المكافئة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة

الشكل (1-1) يمثل الدائرة المكافئة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة. عند توصيل دائرة المجال بمصدر التيار المستمر يمر تيار مستمر في دائرة المجال، وبالتالي يتولد عنه مجال مغناطيسي، وكذا الحال في دائرة المنتج، ونتيجة لتداخل هذين المجالين يتولد العزم الكهرومغناطيسي، مما يسبب حركة المحرك ،ويتسبب ذلك في تولد قوة دافعة مضادة في دائرة المنتج "E_b" وعلى ذلك يمكن وصف عمل المحرك ودراسة خواصه في حالة الاستقرار من خلال المعادلات التالية:

$$V_f = R_f I_f \quad (1\text{-}1)$$
$$V_a = E_b + R_a I_a \quad (1\text{-}2)$$
$$E_b = K_v \omega I_f \quad (1\text{-}3)$$
$$T_d = K_t I_f I_a \quad (1\text{-}4)$$
$$T_d = T_L + B \omega \quad (1\text{-}5)$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

E_b القوة الدافعة العكسية (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

V_f الجهد المسلط على ملفات المجال (V)

R_f مقاومة ملفات المجال (Ω)

I_f تيار المجال (A)

K_v ثابت الجهد للمحرك (V/A-rad./s)

K_t ثابت العزم $(N.m/A^2)$

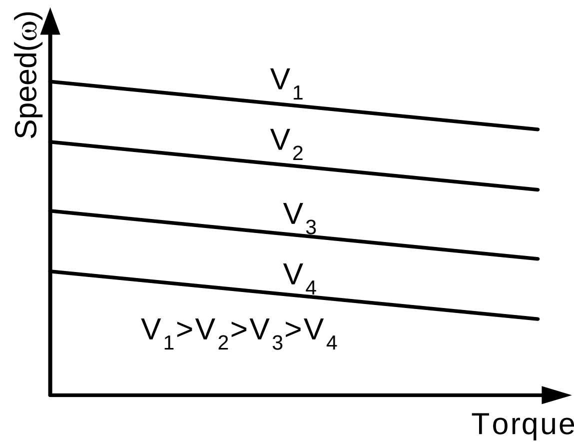
T_d العزم المتولد (N.m)

T_L عزم الحمل (N.m)

ω سرعة المحرك (rad./s)

B معامل الاحتكاك (N.m/rad./s)

ويوضح الشكل (2-1) العلاقة بين العزم وسرعة المحرك عند جهود مختلفة، ومن الملاحظ في هذه العلاقة أنه كلما زاد جهد المنتج زادت السرعة عند نفس العزم، كما يلاحظ أيضاً أن السرعة تقل عند زيادة العزم.



الشكل (2-1)

العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة

مثال (1-1):

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذية كل من دائرة المنتج ودائرة المجال من مصدر للتيار المستمر جهده 440V لكل. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.15 Ω ومقاومة ملفات المجال 300 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.15 V/A.rad./s وعزم الحمل 100 N.m.

أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك:

- احسب تيار المنتج وسرعة المحرك
- إذا زاد عزم الحمل بمقدار 20% احسب سرعة المحرك

الحل

$V_a = 440$ V $\quad V_f = 440$ V $\quad R_f = 300\ \Omega \quad R_a = 0.15\ \Omega$

$T_L = 100$ N.m $\quad K_v = 1.15$ V/A.rad./s.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 100$ N.m

$I_f = \frac{V_f}{R_f} = 1.467$ A.

$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{100}{(1.15)(1.467)} = 59.28$ A

$E_b = V_a - I_a R_a = 431.107$ Volt

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{431.107}{(1.15)(1.467)} = 255.539$ rad./s

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 2440.217$ rpm

إذا زاد الحمل بمقدار 20%

$T_d = T_L = 120$ N.m.

$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{120}{(1.15)(1.467)} = 71.13$ A

$E_b = V_a - I_a R_a = 429.33$ Volt

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{429.33}{(1.15)(1.467)} = 254.486$ rad./s

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 2430.16$ rpm

محرك التوالي Series Motor

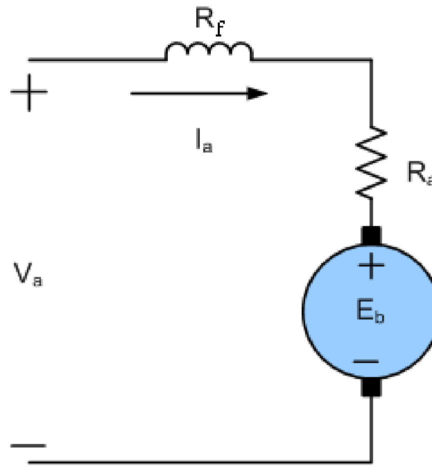
في محرك التوالي يتم توصيل ملفات المجال على التوالي مع ملفات دائرة المنتج كما في الشكل(1-3) وعلي ذلك تكون المعادلات التي تصف عمل المحرك كالتالي:

$V_a = E_b + (R_{a+}R_f)\, I_a$ (1-6)

$E_b = K_v\, \omega\, I_a$ (1-7)

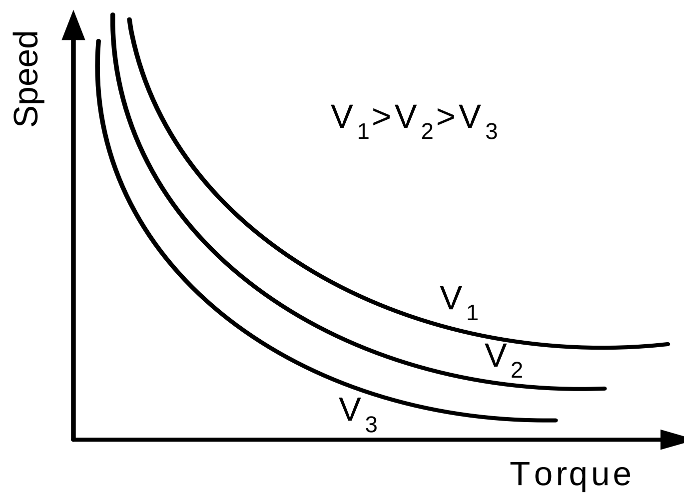
$T_d = K_t\, I_a^{\;2}$ (1-8)

$T_d = T_L + B\, \omega$ (1-9)



الشكل (1-3)

الدائرة المكافئة لمحرك التوالي



الشكل (1-4)

العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التوالي

ويوضح الشكل (4-1) العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التوالي عند قيم مختلفة للجهد ويلاحظ أنه كلما زاد الجهد المسلط على المحرك زادت السرعة عند نفس الحمل، كما يلاحظ أن عزم البدء للمحرك عال جداً ،ولذلك يستخدم بكثرة كمحرك جر في القطارات الكهربائية، كما يجب تحميل المحرك قبل بدء تشغيله.

مثال (2-1):

محرك تيار مستمر من نوع التوالي قيمه المقننة 100 hp, 600V, 1500 rpm . فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.04 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.06 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.032 V/A.rad./s وكان المحرك يعمل عند عزم.60 N.m وسرعة 1000 rpm اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك

- احسب تيار وجهد المنتج
- إذا أريد زيادة سرعة المحرك بمقدار 20% عند نفس العزم احسب جهد المنتج

الحل

$R_f = 0.06\ \Omega$ $R_a = 0.04\ \Omega$ $T_L = 60$ N.m $K_v = 1.15$ V/A.rad./s.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 60$ N.m

$$I_f = I_a = \sqrt{\frac{T_d}{K_v}} = 43.3 \qquad \text{A.}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 104.72 \qquad \text{rad./s}$$

$$E_b = K_v\, I_f\, \omega = 145.1 \qquad \text{Volt}$$

$$V_a = E_b + (R_a + R_f)\, I_a = 149.43 \qquad \text{Volt}$$

لزيادة السرعة عند نفس الحمل (نفس التيار) يجب زيادة جهد المنتج

$n = 1200$.rpm

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 125.664$ rad./s

$E_b = K_v I_f \omega = 174.12$ Volt

$V_a = E_b + (R_a + R_f)\, I_a = 178.45$ Volt

ثانيا : محركات التيار المتردد AC Motors

بالرغم من بساطة نظم التحكم في محركات التيار المستمر وقلة تكلفتها ،إلا أن محركات التيار المستمر نفسها لها بعض العيوب مثل كبر الحجم ،وثقل الوزن، وحاجتها إلى الصيانة الدورية ،وتكلفتها العالية، بالإضافة إلى أنها لا تناسب السرعات العالية، وعلى الجانب الآخر فإن آلات التيار المتردد رخيصة الثمن ولا تحتاج إلى صيانة دورية تقريباً، ولكن التحكم فيها أكثر تكلفة وتعقيداً من تلك المستخدمة مع محركات التيار المستمر. وبصفة عامة ونتيجة للتقدم التكنولوجي في مجال إلكترونيات القدرة فإن محركات التيار المتردد أصبحت تستخدم بكثرة في النظم الصناعية التي تحتاج إلى سرعات متغيرة، وتنقسم محركات التيار المتردد المستخدمة في مثل هذه التطبيقات إلى نوعين هما المحركات الحثية ثلاثية الأوجه والمحركات المتزامنة وسوف نتناول خواص كل منهما باختصار.

المحركات الحثية ثلاثية الأوجه Three Phase Induction Motors

تتكون المحركات الحثية ثلاثية الأوجه من ملفات ثلاثية في كل من العضو الثابت والعضو الدائر، ويتم ترتيب الملفات في العضو الثابت بحيث تعطي تأثير عدد من الأقطاب، ويتم تغذية هذه الملفات من مصدر ثلاثي الأوجه متزن، مما يسبب تكون مجال مغناطيسي يدور بسرعة التزامن ،مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية بالحث في ملفات العضو الدائر ،فإذا تم قصر ملفاته فإن ذلك سوف يؤدي إلى مرور تيار كهربائي في العضو الدائر يصاحبه مجال مغناطيسي دوار آخر ويدور أيضا بسرعة التزامن، ونتيجة لتداخل هذين المجالين المغناطيسيين يتولد العزم الكهرومغناطيسي الذي يؤدي إلى حركة المحرك.

ويمكن فهم خواص المحرك الحثي ثلاثي الأوجه من خلال تمثيله بالدائرة المكافئة المبينة في الشكل (1-5) والدائرة المكافئة التقريبية في الشكل (1-6)، بالإضافة إلى مخطط

القدرة للمحركات الحثية والمبين في الشكل (1-7). ومن خلال ذلك يمكن كتابة المعادلات التي تحكم عمل المحرك كما يلي:

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{P} \tag{1-10}$$

$$\frac{n_s - n}{n_s} = s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \tag{1-11}$$

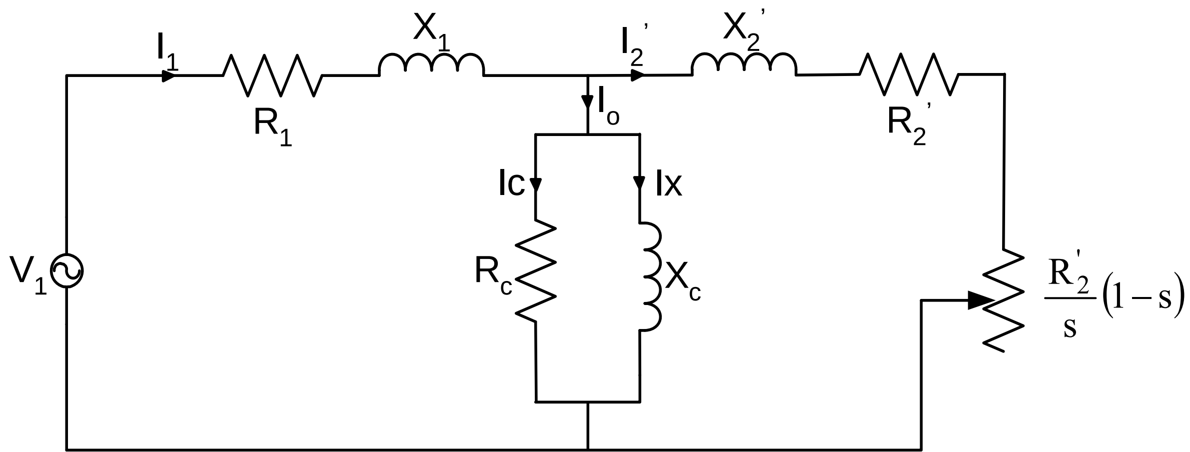
$$T_d = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3I_2^{'2} \cdot \frac{R_2^{'}}{s}}{\omega_s} = \frac{3V_1^2 \cdot R_2^{'}}{s\omega_s \left(R_1 + \frac{R_2^{'}}{s}\right)^2 \left(X_1 + X_2^{'}\right)^2} \tag{1-12}$$

$$n_s = \frac{120 f}{P} \tag{1-13}$$

حيث:

I_1	تيار العضو الثابت (A)
I_2'	تيار العضو الدائر منسوبا للعضو الثابت (A)
R_1	مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)
R_2'	مقاومة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)
X_1	معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)
X_2'	معاوقة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)
R_c	مقاومة القلب الحديدي (Ω)
X_c	معاوقة القلب الحديدي (Ω)
I_o	تيار اللاحمل (A)
I_x	تيار المغنطة (A)
I_c	التيار المعبر عن المفاقيد في القلب الحديدي (A)
ω	سرعة المحرك (rad./s)
ω_s	سرعة التزامن (rad./s)

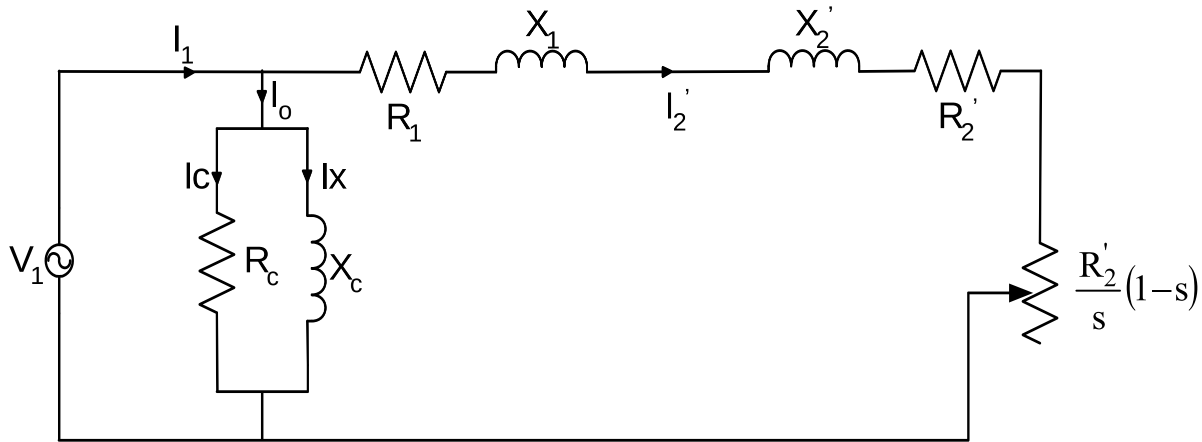
s	الانزلاق
P	عدد الأقطاب
f	تردد المصدر
n_s	سرعة التزامن (rpm)
n	سرعة المحرك (rpm)



الشكل (5-1)

الدائرة المكافئة للمحرك الحثي ثلاثي الوجه

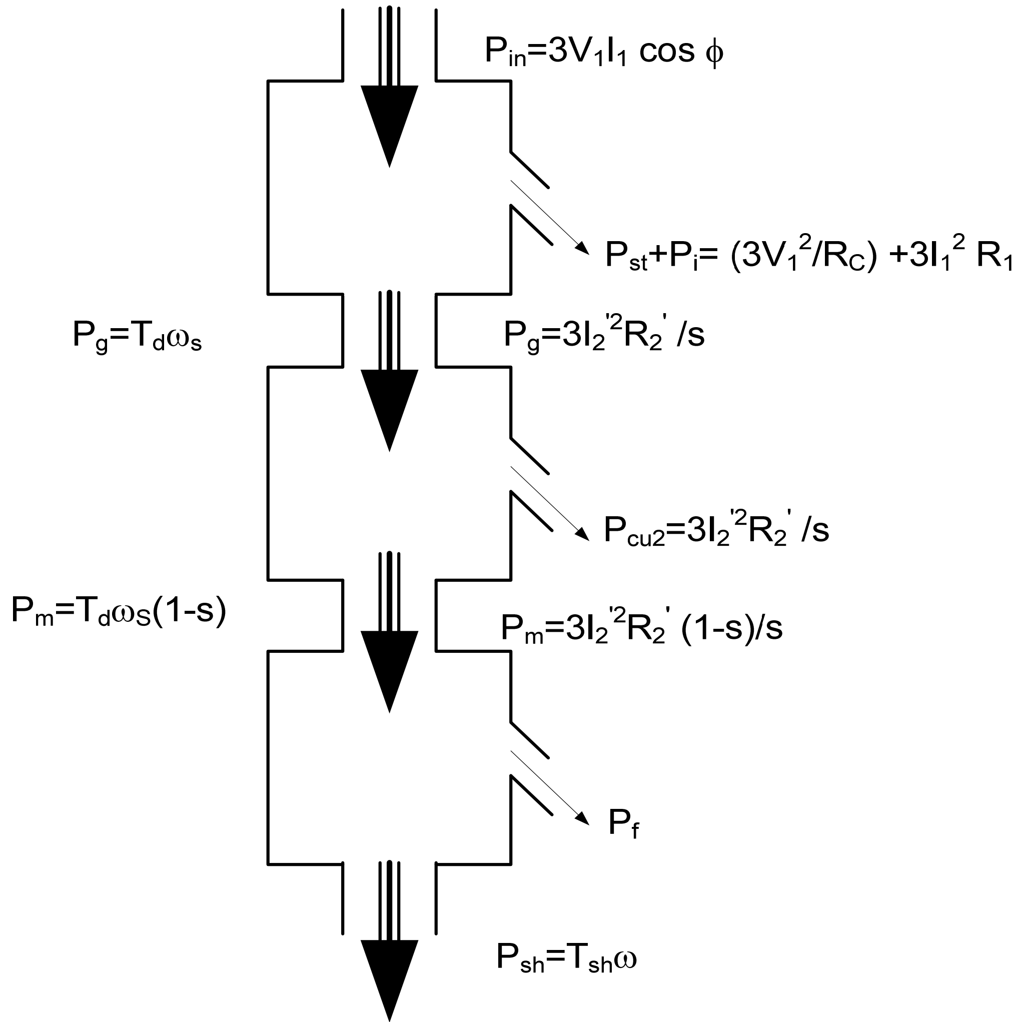
ويمكن رسم الدائرة المكافئة للمحرك بصورة تقريبية كما في الشكل (6-1) وتتكون من نفس عناصر الدائرة المكافئة ولكن تم نقل الجزء المعبر عن القلب الحديدي ليوصل على التوازي مع المصدر.



الشكل (1-6)

الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

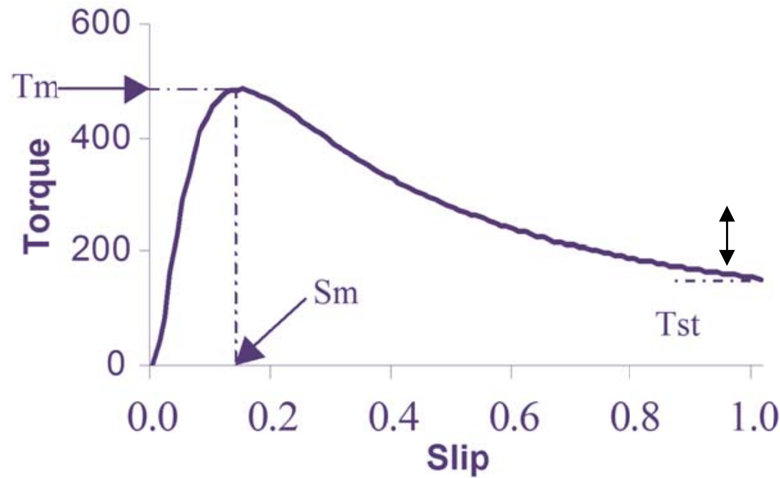
الشكل (1-7) يبين مخطط سريان القدرة في المحرك الحثي منذ لحظة دخولها على شكل قدرة كهربائية (P_{in}) مرورا بالمفاقيد الحديدية (P_i) والنحاسية (P_{st}, P_{cu2}) والميكانيكية (P_f) وانتهاء القدرة الميكانيكية على عمود الإدارة (P_{sh})



الشكل (1-7)

مخطط سريان القدرة للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

الشكل (1-8) يبين العلاقة بين العزم والانزلاق للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه، وتتكون هذه العلاقة من جزأين رئيسين: الجزء الأول من "$s=1$" وحتى "$s=s_m$" وتتميز بعدم الاتزان أما الجزء الثاني من "$s=s_m$" وحتى "$s=0$" وتتميز بالاتزان وهي المنطقة التي يعمل فيها المحرك ،حيث يتلاقى العزم المتولد مع عزم الحمل عند نقطة التشغيل وعلى ذلك تتحدد سرعة المحرك والانزلاق.



الشكل (8-1)

العلاقة بين العزم والانزلاق في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه

مثال (3-1) :

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذي أربعة أقطاب موصل نجمة قيمه المقننة 25hp, 460V, 60Hz وثوابت الدائرة المكافئة له منسوبة للعضو الثابت كالتالي:

$X_1 = 1.1\ \Omega$ $\quad R_2' = 0.333\ \Omega$ $\quad R_1 = 0.64\ \Omega$

$X_c = 27\ \Omega$ $\quad X_2' = 0.465\Omega$

المفاقيد الحديدية 300 watt ومفاقيد الاحتكاك 700 watt ويمكن اعتبارهما ثابتتين فإذا كانت سرعة المحرك 1750 rpm احسب الانزلاق ثم استخدم الدائرة المكافئة التقريبية ومخطط القدرة لحساب:

١- التيار المسحوب من المصدر ٢- معامل القدرة ٣- القدرة المسحوبة من المصدر

٤- القدرة في الثغرة الهوائية ٥- المفاقيد النحاسية ٦- العزم المتولد

٧- عزم الحمل ٨- القدرة عند عمود الدوران

الحل

P_c= 300 W, $\quad P_f$= 700 W, $\quad n$= 1750 rpm, $\quad$ f =60 Hz

$P = 4$ $\quad V_L = 460$ V $\quad V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{460}{\sqrt{3}}$ =265.58 V

$n_s = \frac{120 f}{P} = 1800$ rpm $\quad \omega_s = \frac{2\pi n_s}{60}$ =188.496 rad/s

$\omega = \dfrac{2\pi n}{60}$ =183.26 rad/s $\qquad s = \dfrac{n_s - n}{n_s}$ =0.0278

من الدائرة المكافئة التقريبية في الشكل (1-7) يمكن حساب مجموع معاوقات العضو الثابت والعضو الدائر معاً كالتالي: $\angle -90^\circ$

$$Z_1 + Z_2 = (R_1 + \frac{R_2'}{s}) + j(X_1 + X_2') = 12.618 + j1.565 = 12.715 \angle 7^\circ$$

التيار المار في العضو الدائر

$$I_2' = \frac{V_{ph}}{Z_1 + Z_2} = \frac{265.58}{12.715 \angle 7^\circ} = 20.88 \angle -7^\circ = 20.7 - j2.54$$

تيار اللاحمل

$$I_o = \frac{V_{ph}}{Z_0} = \frac{265.58}{j\,27} = 9.836 \angle -90^\circ = -j9.836$$

التيار المسحوب من المصدر

$$I_1 = I_o + I_2' = 20.7\text{-}j12.38 = 24.12 \angle -30.9^\circ$$

I_1= 24.12 A

معامل القدرة

P.F = Cos(-30.9) = 0.86 lag (متأخر)

القدرة المسحوبة من المصدر

$P_{in}=3V_{ph}\, I_1$ Cos (30.9) = 16492.87 Watt

المفاقيد النحاسية في العضو الثابت

$P_{st} = 3I_1^2.R_1$ = 1117 Watt

القدرة في الثغرة الهوائية

$P_g = P_{in} - (P_{st} + P_c)$= 15075.86 Watt

المفاقيد النحاسية في العضو الدائر

$P_{cu2} = 3I_2^{'2}.R_2^{'}$ = 435.54 Watt

العزم المتولد

$T_d = \dfrac{P_g}{\omega_s} = \dfrac{15075}{188.496}$ = 80 N.m

القدرة عند عمود الدوران

$P_{sh} = P_g - (P_{cu2} + P_f)$ = 13940.32 Watt

عزم الحمل = عزم عمود الدوران

$T_{sh} = \dfrac{P_{sh}}{\omega} = \dfrac{15075}{183.26}$ = 76 N.m

المحركات التزامنية Synchronous Motors

المحرك التزامني محرك ثابت السرعة وتتحدد سرعته بناء على تردد المصدر وعلى عدد الأقطاب. تحتوي المحركات التزامنية على ملفات ثلاثية الأوجه في العضو الثابت (مشابهة لملفات العضو الثابت في المحركات الحثية) كما تحتوي على ملفات المجال في العضو الدائر، حيث يتم تغذيتها بتيار مستمر بينما يتم تغذية ملفات العضو الثابت (المنتج) من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه ،وينتج عن ذلك مجالان مغناطيسيان: أحدهما ناتج عن ملفات العضو الثابت ويدور بسرعة التزامن ،أما الآخر فينتج عن ملفات المجال (العضو الدائر) وهذا المجال يكون ثابتاً، فإذا تم بدء المحرك بأي وسيلة فإن هذين المجالين يتداخلان ويتولد العزم، لذلك فإن المحرك التزامني يحتاج إلى وسيلة لبدء الحركة، هذه الوسيلة إما أن تكون خارجية أو أن يتم بدء المحرك كمحرك حثي عن طريق ملفات الإخماد التي عادة ما توجد في العضو الدائر لهذا الغرض ولتحسين أداء المحرك، وتتميز المحركات التزامنية بقدرتها على العمل عند قيم مختلفة لمعامل القدرة وذلك بالتحكم في قيمة تيار المجال وتنقسم المحركات التزامنية إلى عدة أنواع ،أهمها المحركات التزامنية ذات العضو الأسطواني، والمحركات التزامنية ذات الأقطاب البارزة.

أولا: المحرك التزامني ذو العضو الأسطواني Cylindrical Rotor Motor

في هذه الحالة يتم لف ملفات على العضو الدائر، ويتميز هذا النوع بثغرة هوائية منتظمة ويستخدم في التطبيقات ذات السرعات العالية، ويبين الشكل (1-9)الدائرة المكافئة لهذا النوع ،بينما يبين الشكل(1-10) المخطط الاتجاهي للجهود لهذا المحرك مع إهمال قيمة مقاومة ملفات المنتج كذلك يمكن كتابة المعادلات التي تحكم عمل المحرك التزامني كالتالي:

$$\overline{E}_f = \overline{V}_t + \overline{I}_a (R_a + jX_s) \qquad (1\text{-}14)$$

$$T_d = \frac{3V_t E_f Sin\delta}{\omega_s X_s} \qquad (1\text{-}15)$$

ويدور المحرك بسرعة التزامن والتي يمكن حسابها من المعادلة (1-13)

حيث:

I_a تيار العضو الثابت (A)

E_f جهد المجال (V)

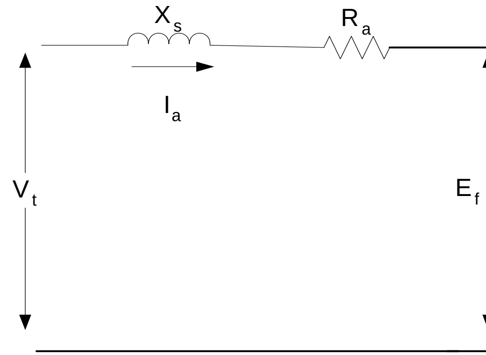
V_t جهد المصدر (V)

R_a مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)

X_s معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)

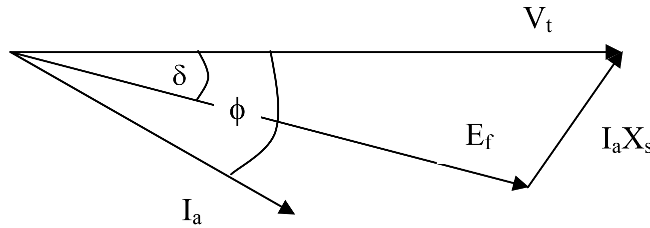
δ زاوية القدرة

ϕ الزاوية بين الجهد والتيار



الشكل (9-1)

الدائرة المكافئة للمحرك التزامني ذي العضو الأسطواني



الشكل (10-1)

المخطط الاتجاهي للجهود

ثانيا: المحرك ذو الأقطاب البارزة Salient Pole Motor

في هذه الحالة يتم لف ملفات المجال حول الأقطاب البارزة والمثبتة على العضو الدوار ،ولذلك تكون الثغرة الهوائية غير منتظمة وتكون معادلة العزم المتولد للمحرك كما يلي:

$$T_d = \frac{3V_t E_f Sin\,\delta}{\omega_s X_d} - \frac{3V_t^2}{2\omega_s} \quad (1\text{-}16)$$

حيث:

X_d المركبة الأفقية للمعاوقة (Ω)

X_q المركبة العمودية للمعاوقة (Ω)

أسئلة الوحدة الأولى

السؤال الأول:

أ. أكمل العبارات التالية:

- في حالة .... يكون العزم والسرعة موجبان ويعمل المحرك في الربع ....
- في حالة الفرملة العكسية يكون العزم................ والسرعة .... ويعمل المحرك في الربع ....

ب. ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية:

- في حالة الفرملة الأمامية يعمل المحرك كمولد ويكون العزم موجباً ☐
- في حالة الفرملة العكسية يكون العزم موجباً والسرعة سالبة ☐
- عزم البدء لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة أعلى من عزم البدء لمحرك توالٍ له نفس القدرة. ☐

السؤال الثاني:

أ. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة. وضح تأثير تغير الجهد على تلك العلاقة

ب. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة محرك التيار المستمر من نوع التوالي. وضح تأثير تغير الجهد على تلك العلاقة

السؤال الثالث:

أكمل ما يلي:

١. إذا زاد نقص عزم الحمل لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة فإن :

a) تيار المجال ....

b) تيار المنتج ....

c) سرعة المحرك ....

d) العزم المتولد ....

٢. إذا زاد جهد المجال لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة فإن :

a) تيار المجال ....

b) تيار المنتج ....

c) عزم الحمل ....

d) سرعة المحرك ....

٣. إذا نقص جهد المنتج لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة فإن :

a) تيار المجال ....

b) تيار المنتج ....

c) عزم الحمل ....

d) سرعة المحرك ....

e) العزم المتولد ....

f) القدرة المسحوبة من المصدر.........

٤. إذا نقص تيار المجال لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة فإن:

a) عزم الحمل ....

b) سرعة المحرك ....

c) العزم المتولد ....

d) القوة الدافعة العكسية**................**

٥. إذا زاد جهد المنتج لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة فإن :

a) تيار المجال ....

b) تيار المنتج ....

c) عزم الحمل ....

d) سرعة المحرك ....

e) العزم المتولد ....

f) القدرة المسحوبة من المصدر.........

السؤال الرابع

أ. اذكر مميزات وعيوب محركات التيار المستمر

ب. اذكر مميزات وعيوب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

ت. ارسم العلاقة بين العزم والانزلاق للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه

ث. عرف كلاً من:

- الانزلاق
- سرعة التزامن

السؤال الخامس:

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذية كل من دائرة المنتج ودائرة المجال من مصدر للتيار المستمر جهده 440V لكل. ف إذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 280 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.14 V/A.rad./s وعزم الحمل 120 N.m. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك:

أ. احسب تيار المنتج وسرعة المحرك.

ب. احسب قيمة جهد المنتج إذا أريد تخفيض السرعة إلى نصف قيمتها السابقة.

السؤال السادس:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي قيمه المقننة 100 hp, 600V, 1500 rpm . فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.02 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.03 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.03 V/A.rad./s وكان المحرك يعمل عند عزم 50 N.m وسرعة 1000 rpm اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك

أ. احسب تيار وجهد المنتج

ب. إذا زاد العزم بمقدار 20% احسب السرعة.

السؤال السابع:

محرك حثي ثلاثي الأوجه ذو أربعة أقطاب موصلاً نجمة قيمه المقننة 20hp, 460V, 60Hz وثوابت الدائرة المكافئة له منسوبة للعضو الثابت كالتالي:

$R_1 = 0.65\ \Omega$ $R_2' = 0.34\ \Omega$ $X_1 = 1.11\ \Omega$

$X_2' = 0.55\Omega$ $X_c = 30\ \Omega$

المفاقيد الحديدية 320 watt ومفاقيد الاحتكاك 700 watt ويمكن اعتبارهما ثابتتين فإذا كان الانزلاق 0.02 احسب سرعة المحرك ثم استخدم الدائرة المكافئة التقريبية ومخطط القدرة لحساب:

١- التيار المسحوب من المصدر ٢- معامل القدرة ٣- القدرة المسحوبة من المصدر
٤- القدرة في الثغرة الهوائية ٥- المفاقيد النحاسية ٦- العزم المتولد
٧- عزم الحمل ٨- القدرة عند عمود الدوران

السؤال الثامن:

أكمل ما يلي:

١. إذا زاد نقص عزم الحمل للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه :
a) التيار في العضو الدائر ....
b) التيار المسحوب من المصدر..............
c) سرعة المحرك ....
d) الانزلاق ....

٢. إذا زاد جهد المصدر المغذي للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه :
a) التيار في العضو الدائر ....
b) التيار المسحوب من المصدر..............
c) سرعة المحرك ....
e) الانزلاق..........
f) العزم المتولد ......

٣. إذا زاد تردد المصدر المغذي للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه فإن :
a) العزم المتولد ....
b) سرعة المحرك ....
c) الانزلاق............
d) القدرة المسحوبة من المصدر.........

الوحدة الثانية

مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

الهدف العام للوحدة: التعرف على أنواع واستخدامات دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

الأهداف التفصيلية:

١. أن يرسم المتدرب الأنواع المختلفة لدوائر التوحيد المحكومة.
٢. أن يرسم المتدرب أشكال موجات التيار والجهد لكل نوع من دوائر التوحيد المحكومة.
٣. أن يتمكن المتدرب من حساب القيمة المتوسطة للجهد والتيار في دوائر التوحيد المختلفة.
٤. أن يرسم المتدرب الأنواع الأساسية لدوائر مقطعات التيار المستمر.
٥. أن يرسم المتدرب أشكال موجات التيار والجهد لمقطع التيار المستمر من النوع الخافض.
٦. أن يتمكن المتدرب من حساب القيمة المتوسطة للجهد الناتج من مقطع التيار المستمر وفهم تأثير نسبة التشغيل على القيمة المتوسطة للجهد.
٧. أن يرسم المتدرب الأشكال الأساسية لدوائر حاكمات الجهد المتناوب وأشكال موجات التيار والجهد.
٨. أن يرسم المتدرب الأشكال الأساسية للعواكس.

الوحدة الثانية : مراجعة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة في الصناعة

نتيجة للتقدم التكنولوجي الهائل في صناعة أشباه الموصلات فقد أصبحت دوائر إلكترونيات القدرة تلعب دوراً رئيسياً مهماً في مجال التحكم الإلكتروني في المحركات الكهربائية، حيث أصبح من السهل استخدام هذه الدوائر لبدء الحركة والتحكم في سرعة المحركات ،كما يمكن استخدامها لعمل الفرملة أيضاً. وتسمى الدوائر الإلكترونية المستخدمة لهذا الغرض بمغيرات القدرة "Converters " وتتميز هذه الدوائر بصغر الحجم والدقة العالية وقلة التكلفة في معظم الحالات. وتنقسم مغيرات القدرة إلى عدة أنواع هي:

الموحدات المحكومة " Controlled Rectifiers "

مقطعات التيار المستمر "DC Choppers "

حاكمات الجهد المتردد " AC Voltage Controllers "

العواكس " Inverters "

ويعتمد اختيار مغير القدرة المناسب على عدة عوامل مثل نوع المحرك ومصدر التغذية المتوفر بالإضافة إلى طبيعة الحمل.

أولاً: الموحدات المحكومة "Controlled Rectifiers"

تستخدم الموحدات المحكومة للتحويل من تيار متردد إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثايرستورات" حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثايرستور، ويتم إشعال الثايرستور في دوائر الموحدات المحكومة بتسليط نبضة على البوابة، بينما يتم إطفاؤه طبيعياً في حالة الأحمال الممثلة بمقاومة، أما في حال الأحمال الحثية (ملفات) فيتم إطفاؤه بإشعال ثايرستور آخر في دائرة الموحد المستخدم وذلك خلال النصف السالب من الموجة.

وتتميز الموحدات المحكومة بالبساطة والكفاءة العالية وقلة التكلفة، ولذلك تستخدم بكثرة في التحكم في التطبيقات الصناعية التي تتطلب سرعات متغيرة، ويمكن تقسيم الموحدات المحكومة حسب نوع المصدر إلى نوعين رئيسين: موحدات أحادية الوجه وموحدات ثلاثية الأوجه، كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربعة أنواع هي:

الموحد النصف الموجة المحكوم "Half Wave Converter "

الموحد الكاملة الموجة النصف المحكوم "Semi-converter"

الموحد الكاملة الموجة المحكوم "Full Wave Converter "

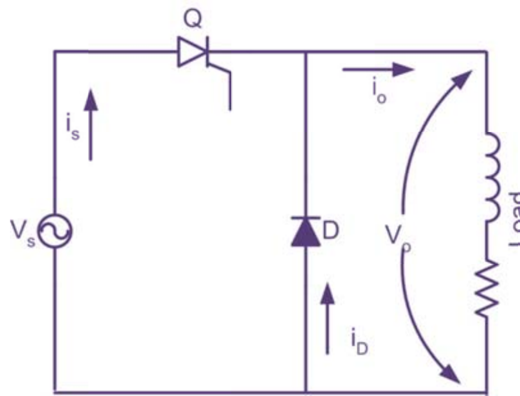
المغير المزدوج "Dual Converter"

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع في الجزء التالي

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم Single Phase Half Wave Converter

يتكون هذا الموحد من عنصر توحيد محكوم (ثايرستورQ) كما في شكل 1-2 . ويتميز التيار المار في الحمل نتيجة لاستخدام هذا الموحد بأنه تيار متقطع وغير متصل ،ولذلك يحتاج إلى ملف تنعيم عالي القيمة ،كما يتطلب أيضا وجود دايود حذافة (D) وذلك للمحافظة على توفير مسار لتيار الحمل الحثي ،وحتى نتمكن من اطفاء الثايرستور ،وينتج عن ذلك أيضا أن جهد الحمل لا يحتوي على الجزء السالب من موجة الجهد، وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل.

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}(1 + Cos\,\alpha) \qquad (2\text{-}1)$$



الشكل (2-1)

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم

وكما هو واضح من المعادلة (2-1) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته المتوسطة بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال"α "، .ونتيجة للتذبذبات العالية في موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحد فإنه يستخدم في التطبيقات الصناعية على نطاق ضيق جداً وفي القدرات الصغيرة

مثال (1-2) :

الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 60^o

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار 8A

ت. أقصى قيمة يمكن الحصول عليها لتيار الحمل

ث. ارسم العلاقة بين زاوية الإشعال والجهد المتوسط على أطراف الحمل

الحل

أ) تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}\left(1 + Cos\alpha\right) = 46.816(1 + Cos60) = 70.22 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.022 \quad \text{A.}$$

ب) زاوية الإشعال للحصول على تيار 8A

$$V_o = I_o R = 8 \times 10 = 80 \quad \text{Volt}$$

بالتعويض في المعادلة (1-2)

$\alpha = 44.86^o$

ت) أقصى قيمة لتيار الحمل

للحصول على أقصى قيمة للتيار يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{2\pi}\left(1 + Cos\alpha\right) = 46.816(1 + Cos0) = 93.63 \quad \text{Volt}$$

$$I_{o\max} = \frac{V_{o\max}}{R} = 9.36 \quad \text{A.}$$

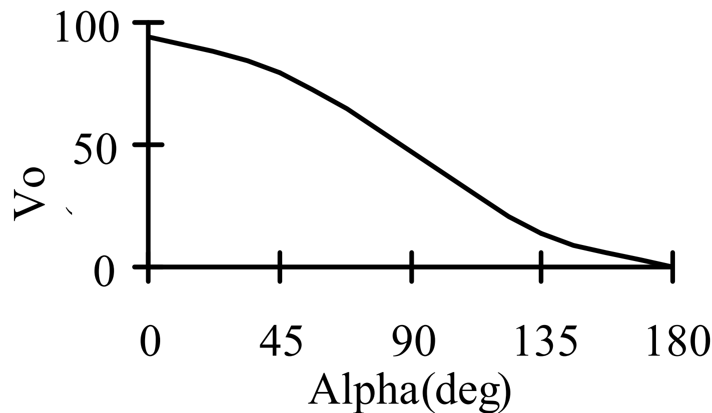
ث)العلاقة بين زاوية الإشعال والجهد المتوسط على أطراف الحمل

من المعادلة (2-1) وبالتعويض عن قيمة V_m يمكن استنتاج الجدول التالي

α(deg)	0	45	90	135	180
V_o(volt)	93.63	79.816	46.816	13.71	0

جدول 1

العلاقة بين زاوية الإشعال والقيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل (مثال 1-2)

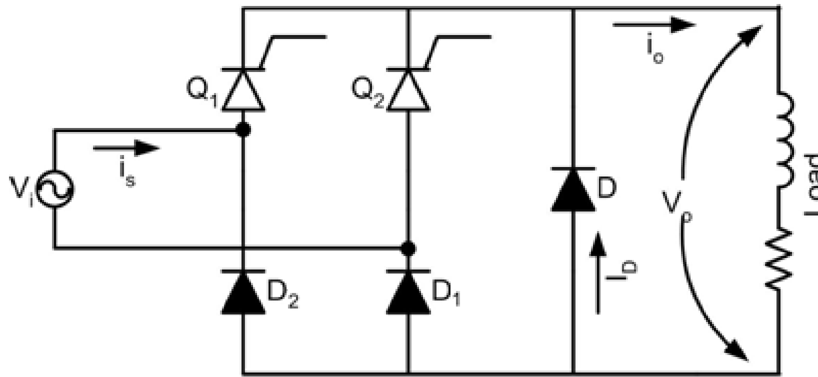


الشكل (2-2)

العلاقة بين الجهد وزاوية الإشعال (مثال 1-2)

الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة النصف محكوم "Single Phase Semi-Converter"

يتكون الموحد النصف المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في الشكل (3-2) اثنان منهما عبارة عن ثايرستور (Q_1,Q_2) والآخران عبارة عن دايود (D_1, D_2) بالإضافة إلى دايود الحذافة " D "، ويبين الشكل (4-2) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد لتغذية حمل ذي محاثة عالية وذلك للحصول على تيار متصل وخالٍ من التذبذبات.



الشكل (3-2)

الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة النصف المحكوم

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج"V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج خلال الفترة الزمنية "0-π" وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل:

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\,\alpha) \qquad (2\text{-}2)$$

وكما هو واضح من المعادلة (2-2)هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α".

ومن الواضح أن جهد الخرج لهذا الموحد دائماً يكون موجباً، وكذلك تيار الحمل يكون أيضاً موجباً لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي لا تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد أو التيار"One quadrant" كحالات التدوير الأمامي للمحركات حيث إن تيار الخرج متصل وخال من التذبذبات.

الشكل (2-4)

أشكال موجات الجهد والتيار الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم

مثال (2-2) :

موحد أحادي الوجه كامل الموجة نصف المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 75^o

ب. زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره 150 v

ت. أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل

الحل

أ) تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha) = 93 \cdot 633(1 + Cos75) = 117.86 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{117.86}{10} = 11.787 \quad \text{A.}$$

ب) زاوية الإشعال: بالتعويض في المعادلة (2-2) عن الجهد 150 V

$\alpha = 52.987^o$

ت) أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل

للحصول على أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha) = 93.633(1 + Cos0) = 187.266 \quad \text{Volt}$$

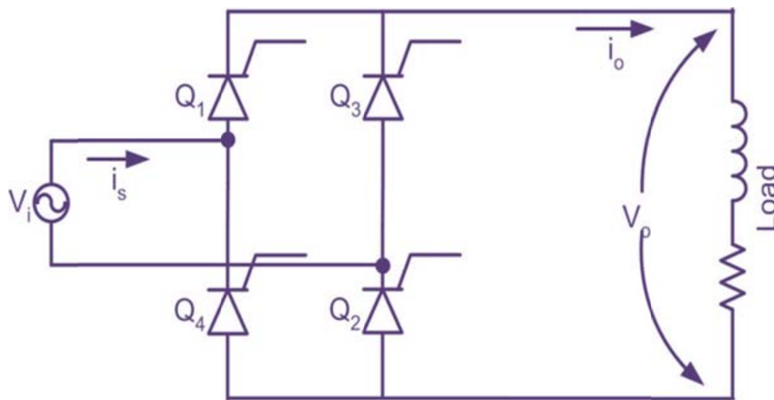
الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم "Single Phase Full Converter"

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في الشكل (2-5) جميعها ثايرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4). ويوضح الشكل (2-6) أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام هذا الموحد مع حمل ذي محاثة عالية حيث يمر التيار في كل من (Q_1, Q_2) في النصف الموجب لموجة المصدر ويمر في كل من (Q_3, Q_4) في النصف السالب، وينتج عن ذلك مرور تيار موحد دائماً في الحمل. وفي حالة زيادة زاوية الإشعال عن 90^o فإن جهد الحمل سيصبح سالباً، بمعنى أن التيار الناتج من استخدام هذا الموحد يكون دائماً موجباً بغض النظر عن زاوية الإشعال ،بينما يعتمد الجهد على زاوية الإشعال فإما أن يكون موجباً عندما تكون زاوية الإشعال أقل من 90^o ، أو سالباً إذا كانت أكبر من 90^o (Two-quadrant)، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى عكس الجهد مثل عمليات الفرملة بإعادة التوليد.

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "α to π-α"

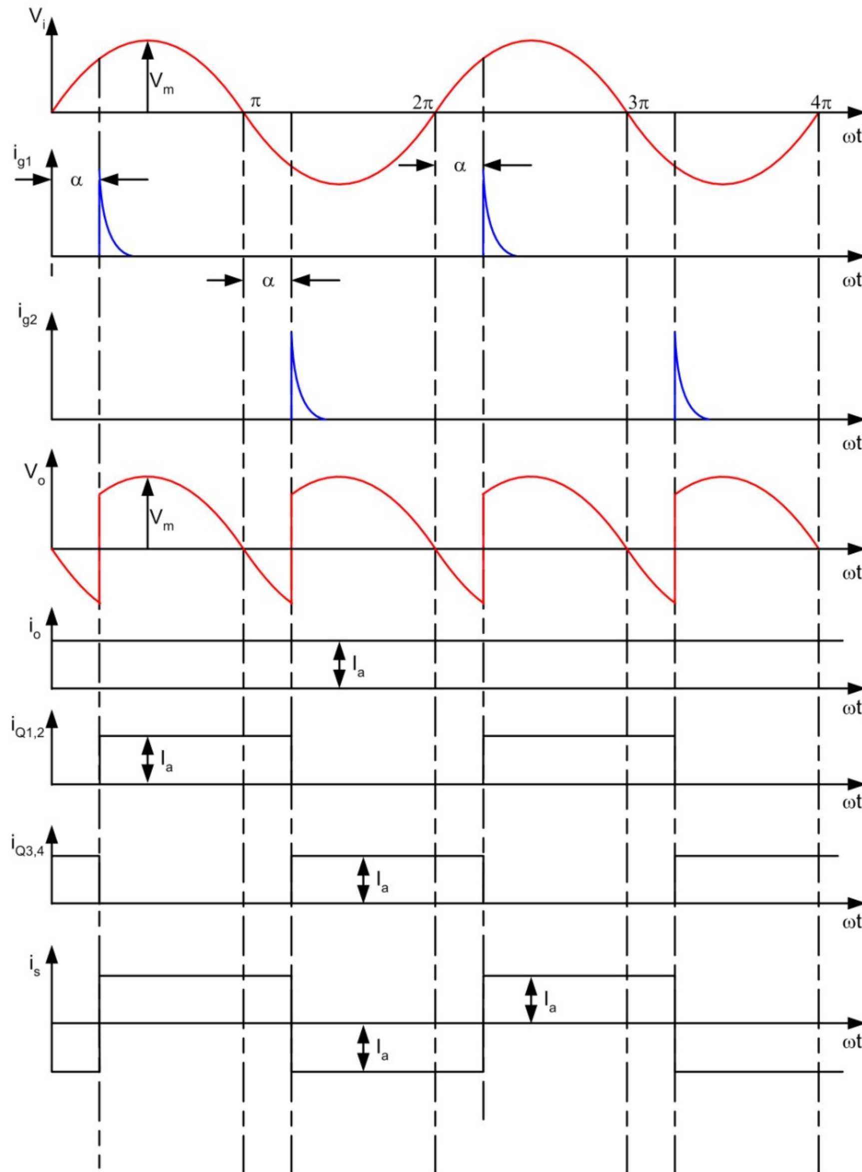
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} Cos\alpha \qquad (2-3)$$

وكما هو واضح من المعادلة (2-3) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال " α"



الشكل (2-5)

الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة المحكوم



الشكل (6-2)

أشكال موجات الجهد والتيار

مثال (3-2) :

موحد أحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v احسب:

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o

ب. القدرة المسحوبة من المصدر P_s

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135^o احسب القدرة المستردة إلى المصدر

الحل

أ)

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 187.266(Cos45) = 132.417 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{132.417}{13.417} = 13.24 \quad \text{A.}$$

ب)

القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$P_s = P_L = V_o\, I_o = (132.417)(13.34) = 1753.43$ watt

ت)

عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 135^o فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً، ويمكن حسابه من المعادلة (3-2)

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 187.266(Cos135) = -132.417 \quad \text{Volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o = (-132.417)(13.34) = -1753.43$ watt

الموحد المزدوج الأحادي الوجه Single Phase Dual Converter

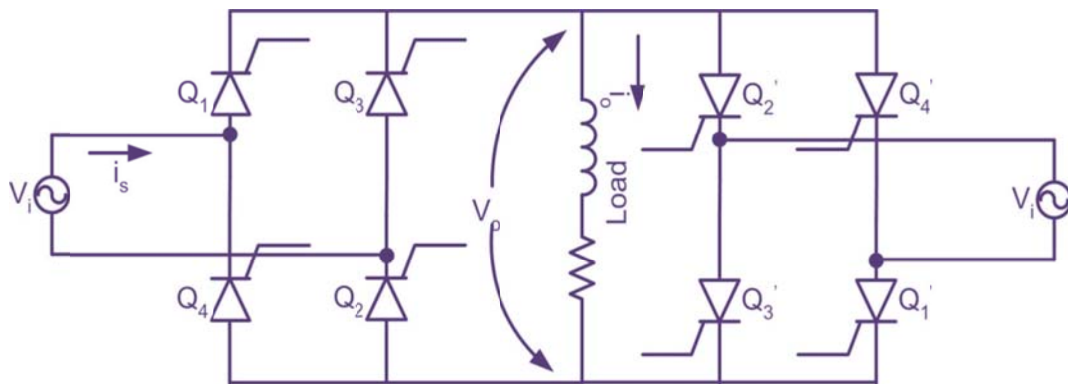
يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما ﬞ الشكل (2-7) وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار ﬞ الحمل (Four quadrant) ويستخدم هذا الموحد بكثرة ﬞ التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة ويمكن ملاحظة أن أحد الموحدين فقط هو الذي يعمل ولعكس الجهد أو التيار يتم إيقاف هذا الموحد وتشغيل الموحد الثاني، فعلى سبيل المثال عند تشغيل الموحد الأول حيث تكون زاوية الإشعال α_1 يكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلى

$$V_{o1} = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha_1$$

وعندما يتم إيقاف الموحد الأول وتشغيل الثاني بزاوية إشعال α_2 يكون الجهد المتوسط على الحمل

$$V_{o2} = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha_2$$

ويكون اتجاه الجهد V_{o2} عكس اتجاه الجهد V_{o1} وبالتالي يكون أيضا التيار الناتج ﬞ الحالة الثانية عكس اتجاه التيار ﬞ الحالة الأولى

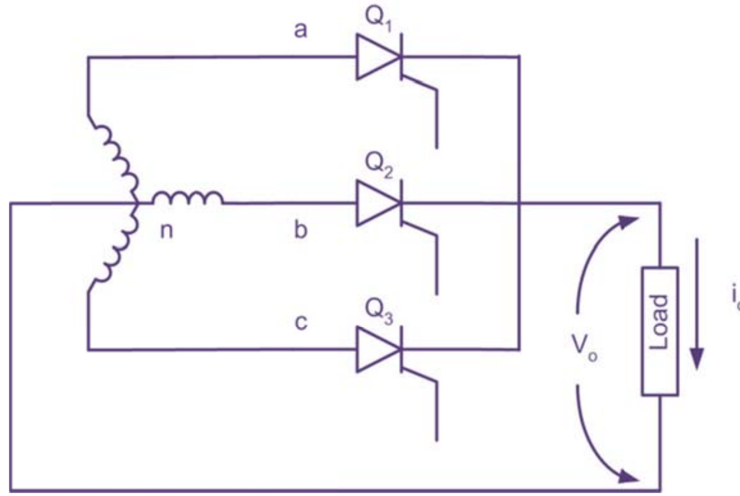


الشكل (2-7)

الموحد المزدوج أحادي الوجه

الموحد ثلاثي الوجه النصف الموجة المحكوم "Three Phase Half Wave Converter"

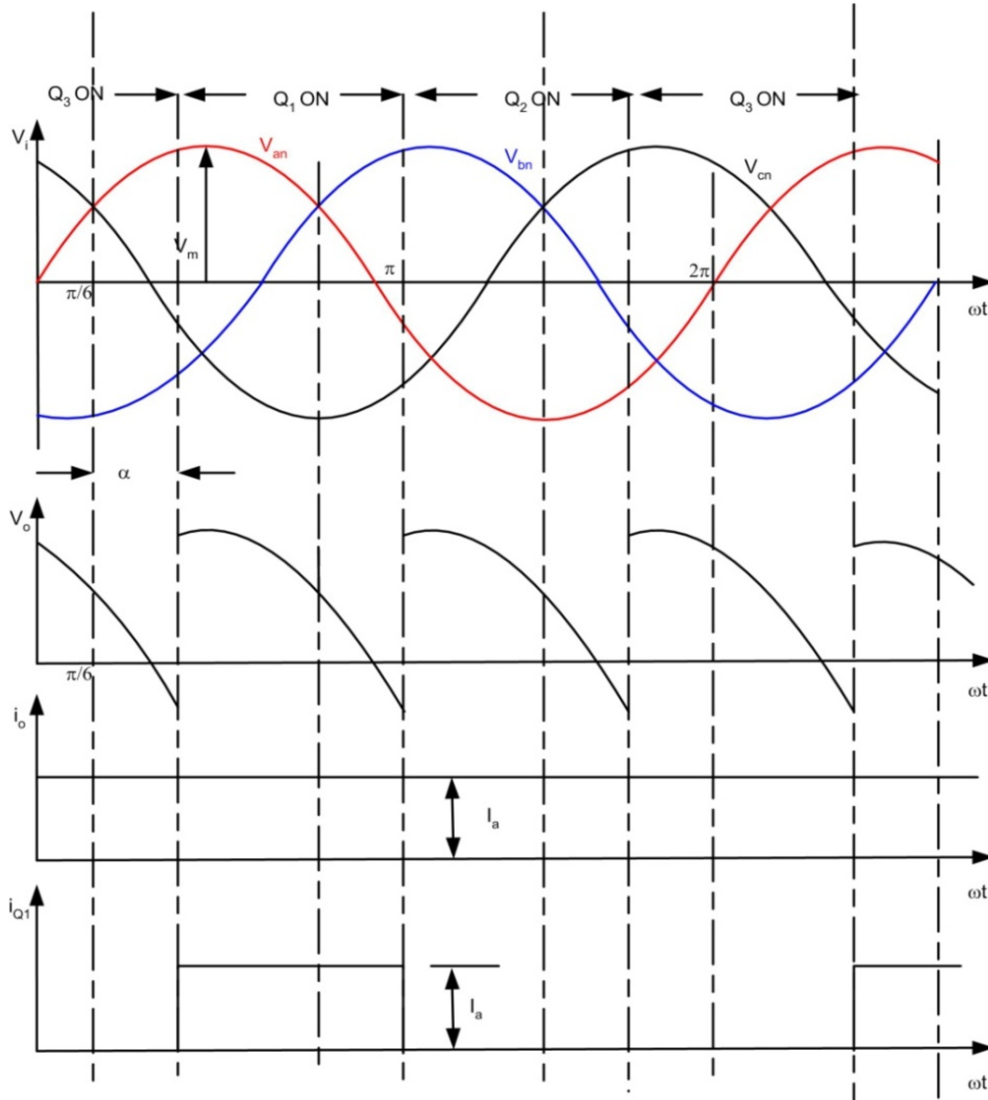
تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات أحادية الوجه، كما أن تردد التذبذبات يكون عالياً ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات الأحادية الوجه



الشكل (2-8)

الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة

يتكون الموحد الثلاثي نصف الموجة من ثلاث ثايرستورات "Q_1,Q_2,Q_3" توصل بين المصدر والحمل كما في الشكل (2-8) في هذه الحالة يتم إشعال Q_1 عندما يكون انحيازه أمامياً بمعني أن تكون $(\omega t>\pi/6)$ وعلى ذلك يتم إشعاله عند $(\omega t=\pi/6 + \alpha)$، وينتج عن ذلك أن يظهر الجهد V_{an} على الحمل ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_2 عند $(\omega t=5\pi/6 + \alpha)$ فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_1 يؤدي إلى إطفائه ويظهر الجهد V_{bn} على الحمل، ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_3 عند $(\omega t=3\pi/2 + \alpha)$ فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_2 يؤدي إلى إطفائه، ويظهر الجهد V_{cn} على الحمل، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار للموحد والحمل كما في الشكل (2-9) ويمكن ملاحظة أن التيار دائماً موجباً بينما الجهد من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً" Two quadrant"حسب زاوية الإشعال كما يمكن ملاحظة أن عدد التذبذبات أقل من تلك الناتجة من الموحد أحادي الوجه



الشكل (2-9)

أشكال موجات الجهد والتيار

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\,\alpha \qquad (2\text{-}4)$$

مثال (2-4) :

موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v، احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^o

الحل

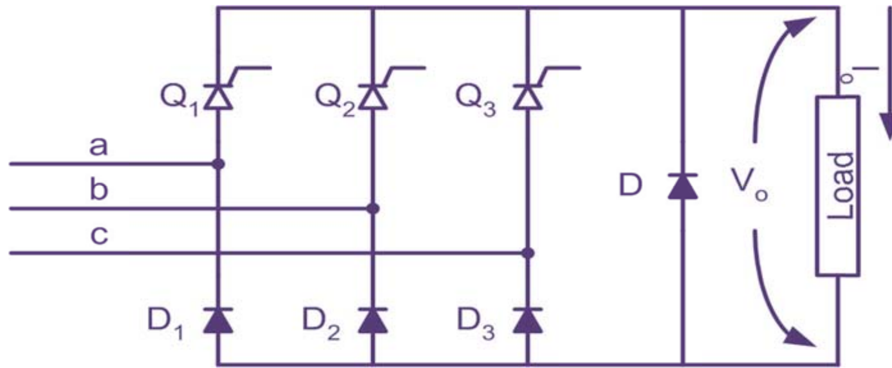
$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \quad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(Cos\alpha) = 140\cdot 449(Cos30) = 121.633 \quad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{121.633}{10} = ١٢,١٦٦ \quad \text{A.}$$

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم "Three Phase Semi-converter"

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعها على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود حذافة كما في الشكل (2-10)،



الشكل (2-10)

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب " One quadrant" مثل حالات التدوير الأمامي للمحركات، ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة كما أن معامل قدرته أعلى ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha) \qquad (2\text{-}5)$$

مثال (2-5) :

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v. احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 30^o .

الحل

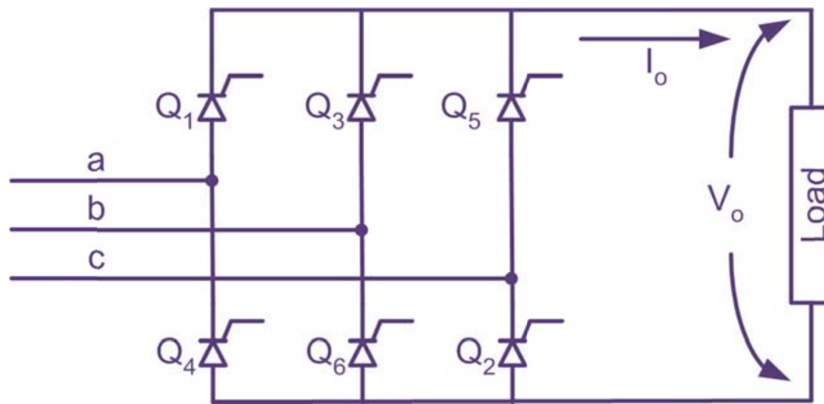
$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha) = 140\cdot449(1+Cos30) = 262.08 \qquad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{262.08}{10} = ٢٦,٢١ \qquad \text{A.}$$

الموحد ثلاثي الوجه الكاملة الموجة المحكوم "Three Phase Full Converter"

يتكون هذا الموحد من ستة ثايرستورات يتم توزيعها على شكل قنطرة كما في الشكل (2-11)



الشكل (2-11)

الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب أو سالب على حسب قيمة زاوية الإشعال وتيار موجب فقط "Two quadrant" لذا يستخدم في حالات التدوير الأمامي والفرملة الأمامية ويكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}Cos\alpha \qquad (2\text{-}6)$$

مثال (2-6) :

الموحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v . احسب

أ. تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o

ب. القدرة المسحوبة من المصدر P_s

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135^o احسب القدرة المستردة إلى المصدر

الحل

أ)

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{Volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 280.898(Cos45) = 198.625 \qquad \text{Volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{198.62}{10} = ١٩٫٨٢٦ \qquad \text{A.}$$

ب)القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$P_s = P_L = V_o I_o = (198.625)(19.826) = 3945.189$ watt

ت) عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون 135^o فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالباً ويمكن حسابه من المعادلة (2-3)

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha) = 280.898(Cos135) = -198.625 \qquad \text{Volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o = (-198.62)(19.826) = -3945.189$ watt

الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه "Three Phase Dual Converter"

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في الشكل (2-12) وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار في الحمل "Four quadrant" ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى أربع حالات تدوير مختلفة ومحركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.

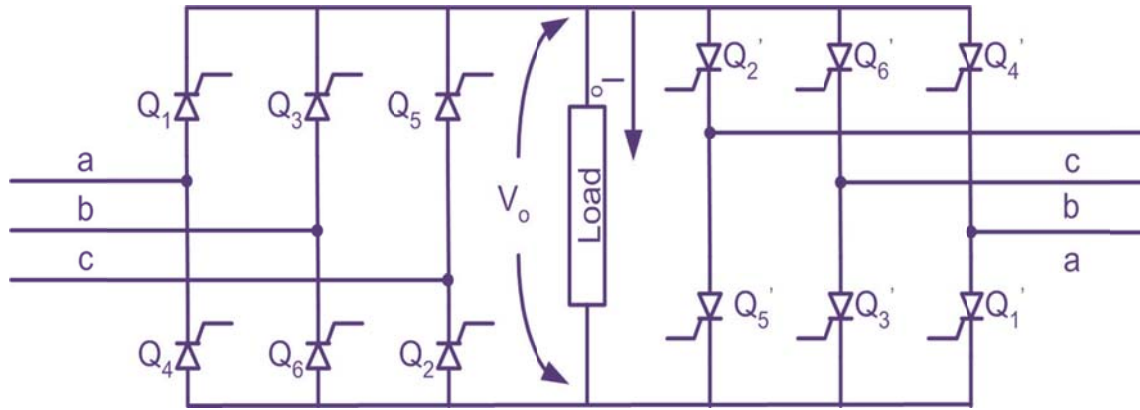
وتجدر الاشارة هنا أنه يتم تشغيل أحد الموحدين فقط ، وعندما يراد عكس اتجاه الجهد والتيار يتم إيقاف هذا الموحد ومن ثم تشغيل الثاني، فعلى سبيل المثال عند تشغيل الموحد الأول ، حيث تكون زاوية الإشعال α_1 يكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_{o1} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos\alpha_1$$

وعندما يتم إيقاف الموحد الأول وتشغيل الثاني بزاوية إشعال α_2 يكون الجهد المتوسط على الحمل

$$V_{o2} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos\alpha_2$$

ويكون اتجاه الجهد V_{o2} عكس اتجاه الجهد V_{o1} وبالتالي يكون أيضا التيار الناتج في الحالة الثانية عكس اتجاه التيار في الحالة الأولى.



الشكل (2-12)

الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه

ثانياً: مقطعات التيار المستمر DC Choppers

تستخدم مقطعات التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة (محكوم)، وتستخدم مقطعات التيار المستمر على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية والأوناش.... الخ، وتلعب مقطعات التيار المستمر دوراً مهما للتحكم في السرعة أو عمل الفرملة بإعادة التوليد ،ويؤدي استخدامها إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية.

نظرية عمل مقطعات التيار المستمر Theory of Operation

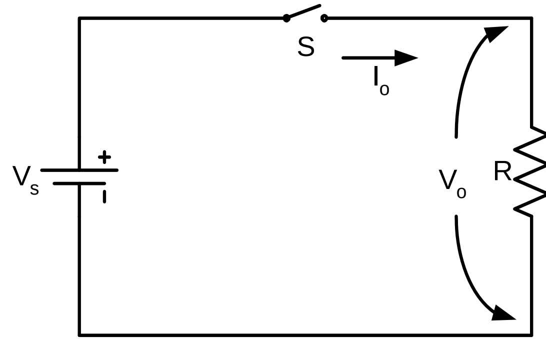
يمكن فهم فكرة عمل مقطع التيار المستمر باستخدام الدائرة الموضحة في شكل (2-13) والمكونة من حمل (عبارة عن مقاومة) ومفتاح ومصدر للتيار المستمر. عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل، وإذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساوياً للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (2-14) ويكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s \qquad (2\text{-}7)$$

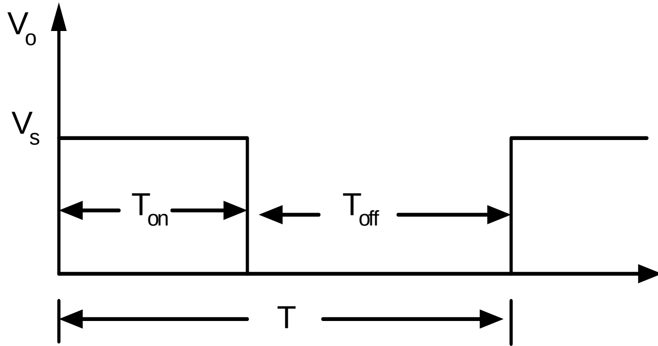
حيث

V_s	جهد المصدر
T_{on}	زمن التوصيل
T_{off}	زمن الفصل
T	الزمن الكلي
V_o	جهد الخرج
k	نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (2-7) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق التحكم في نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عالياً (يتراوح ما بين 500 Hz إلى 2500 Hz) لذا يجب أن يكون المفتاح المستخدم أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة أو IGPT أو MOSFET أو GTO ......إلخ.



الشكل (2-13)
دائرة مقطع التيار المستمر



الشكل(2-14)
جهد الخرج

مما سبق يتضح لنا أنه يمكن التحكم في القيمة المتوسطة للجهد عن طريق نسبة التشغيل والتي يمكن التحكم فيها بطريقتين:

تعديل عرض النبضة (PWM) ويتم ذلك بتغيير فترة التوصيل (T_{on}) مع المحافظة على زمن الدورة (T) ثابت

تغيير التردد (FM) ويتم ذلك بتغيير زمن الدورة (T) مع المحافظة على زمن التوصيل (T_{on}) ثابت

وتنقسم المقطعات حسب نوعية أشباه الموصلات المستخدمة إلى عدة أنواع منها:

المقطعات الثايرستورية: ويستخدم فيها ترانزستور القدرة (SCR) كمفتاح وتتميز بالقدرات العالية ولكنها تحتاج إلى دوائر إطفاء قسرية

المقطعات الترانزستورية: ويستخدم فيها ترانزستور القدرة (PT) كمفتاح وتمتاز بعدم حاجتها إلى دوائر إطفاء قسرية حيث يتم تشغيله بنبضة تيار على القاعدة وإطفاؤه يتم بنهاية نبضة تيار القاعدة، ونتيجة لاعتماد ترانزستور القدرة على تيار القاعدة في الإشعال فإن هذا يعني تعقيداً وصعوبة في دوائر الإشعال ويزيد التعقيد كلما زاد تيار الحمل.

مقطعات الموسفت: ويستخدم فيها ترانزستور موسفت (MOSFET) كمفتاح، وقد انتشرت بشكل ملحوظ في الصناعة، وذلك لما يتمتع به من بعض المميزات مثل:

- ترانزستور موسفت (MOSFET) يتم التحكم فيه بإشارة جهد وليس بإشارة تيار حيث يحتاج لتيار صغير جداً لإشعاله.
- البوابة معزولة عن المصدر بمعنى أنه ليس هناك ارتباط بين تيار البوابة وتيار الحمل.
- يعمل عند ترددات عالية وهذا يسهل عملية تنعيم الخرج

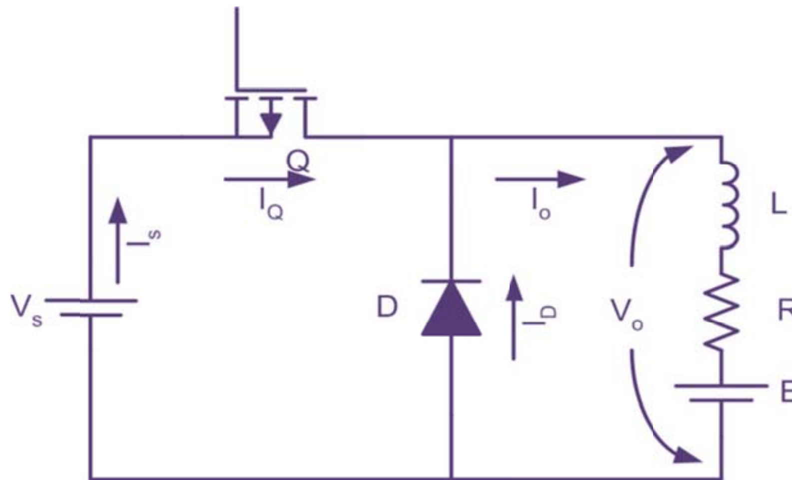
وعلى الجانب الآخر فإن قدراتها أقل من الثايرستور ولكن يمكن التغلب على هذا العيب بتوصيلها على التوازي

ويمكن تقسيم مقطعات التيار المستمر من حيث استخدامها إلى نوعين رئيسين هما المقطعات الخافضة والمقطعات الرافعة.

المقطعات الخافضة "Step Down DC Chopper"

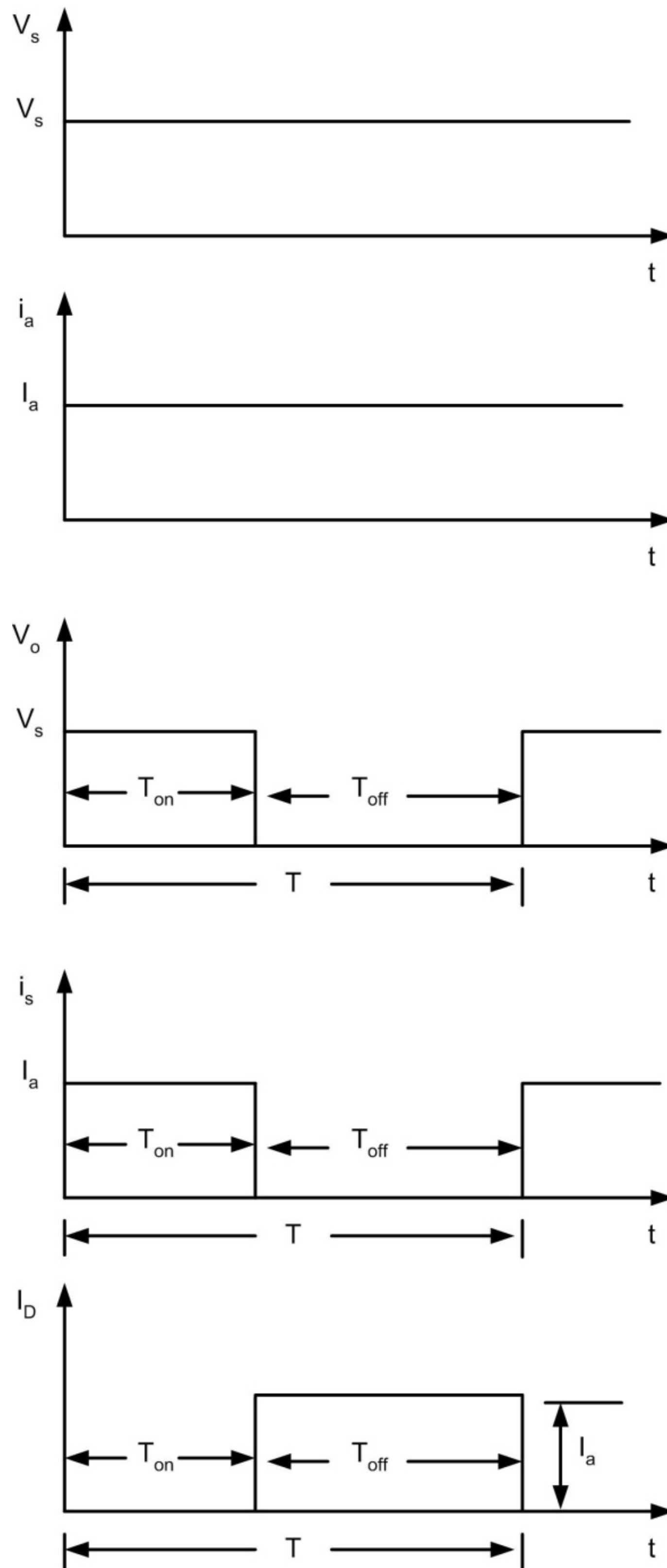
في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أقل من جهد المصدر، أي أن نسبة التشغيل أقل من واحد. ويبين الشكل (2-15) مقطعاً خافضاً باستخدام موسفت لتغذية حمل عبارة عن مقاومة وملف وبطارية كما يبين الشكل (2-16) أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة باعتبار أن محاثة الملف عالية بحيث يكون تيار الحمل متصلاً وخالياً من التذبذبات.

عند تشغيل المقطع أي وضع الموسفت في حالة (On) يمر التيار من المصدر إلى الحمل من خلال الموسفت (Q)، أما في حال الفصل أي وضع الموسفت في حالة (Off) فإن التيار يدور في الحمل ودايود الحذافة حتى يتم تشغيل (Q) مرة أخرى، وفي هذه الحالة يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما في المعادلة (2-7) حيث تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.



الشكل (2-15)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض باستخدام الموسفت



الشكل (2-16)

أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة

المقطعات الرافعة "Step Up DC Chopper"

في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أكبر من جهد المصدر. الشكل (2-17) يوضح مثالاً للمقطعات الرافعة إذ يتكون من موسفت وملف عالي القيمة ودايود تم تركيبهما بالشكل المبين. عند تشغيل المقطع أي وضعه في حالة (On) فإن التيار يمر في الملف (L) لفترة طويلة حيث يتم تخزين طاقة في الملف وعند وضع المفتاح في حالة (Off) يتم تفريغها في الحمل ويمكن إثبات أن الجهد على أطراف الحمل:

$$v_o = \frac{\Delta I}{1-k} V_s \qquad (2\text{-}8)$$

حيث:

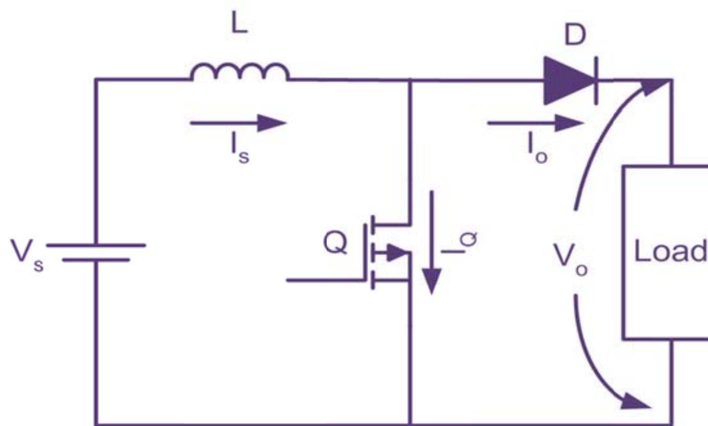
V_s جهد المصدر

ΔI الفرق بين القيمة العظمى والصغرى للتيار نتيجة لعملية الفصل والتوصيل

k نسبة التشغيل

v_o القيمة الحظية لجهد الخرج

ومن المعادلة (2-8) يمكن ملاحظة أن الجهد على أطراف الحمل يمكن التحكم فيه بالتحكم في نسبة التشغيل. ويمكن استخدام هذه الفكرة لنقل الطاقة من مصدر إلى آخر كما تستخدم لعمل الفرملة للمحركات الكهربائية بإعادة التوليد.



الشكل (2-17)

دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الرافع باستخدام الموسفت

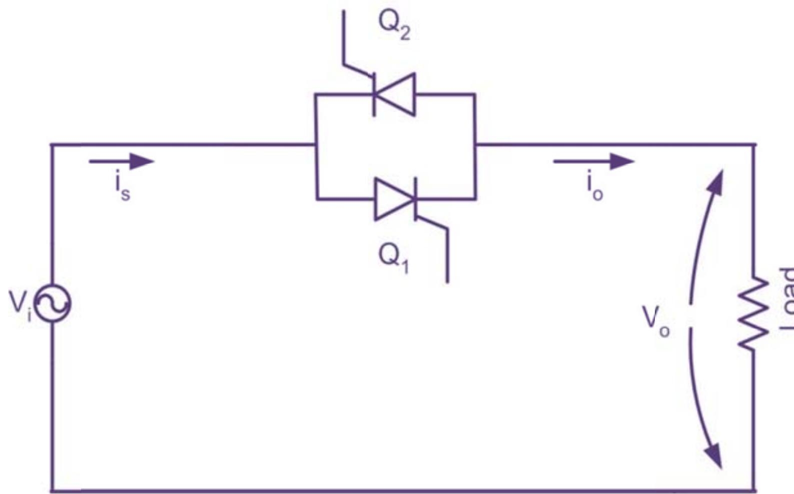
ثالثاً: حاكمات الجهد المتناوب (المتردد) AC Voltage Controller

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب للتحويل من جهد متردد ثابت القيمة إلى جهد متردد متغير القيمة (محكوم)، ويتم ذلك باستخدام عناصر إلكترونيات القدرة مثل الثايرستور لتحقيق هذا الغرض، ولفهم كيفية عمل حاكمات الجهد المتناوب نبدأ بدراسة لدائرة بسيطة لحاكم جهد متناوب أحادي الوجه يستخدم لتغذية مقاومة كما في الشكل (2-18)، وتتكون دائرة حاكم الجهد المتناوب من ثايرستورين متعاكسين $Q1, Q_2$، يتم إشعال أحدهما في النصف الموجب من الموجة، بينما يتم إشعال الآخر في النصف السالب من الموجة. ويعتبر الهدف الأساسي لاستخدام حاكمات الجهد المتناوب هو التحكم في القيمة الفعالة للجهد.

وهناك طريقتان لتنفيذ هذا الهدف:

١. التحكم في فترات التشغيل والإيقاف On-Off Control

وفي هذه الحالة يتم توصيل Q_1, Q_2 لعدد صحيح من الدورات ثم فصلها لعدد آخر كما في الشكل 19-2 وهكذا يتم التحكم في القيمة الفعالة للجهد، وتتميز هذه الطريقة بقلة التوافقيات الناتجة من عملية التوصيل والفصل للثايرستورات.

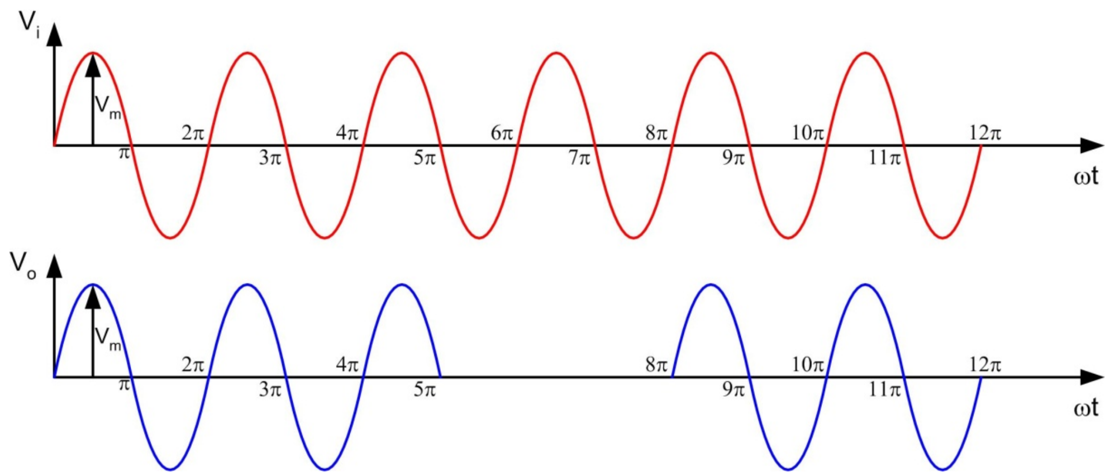


الشكل (2-18)

دائرة حاكم الجهد المتردد أحادي الوجه مع حمل مقاومة

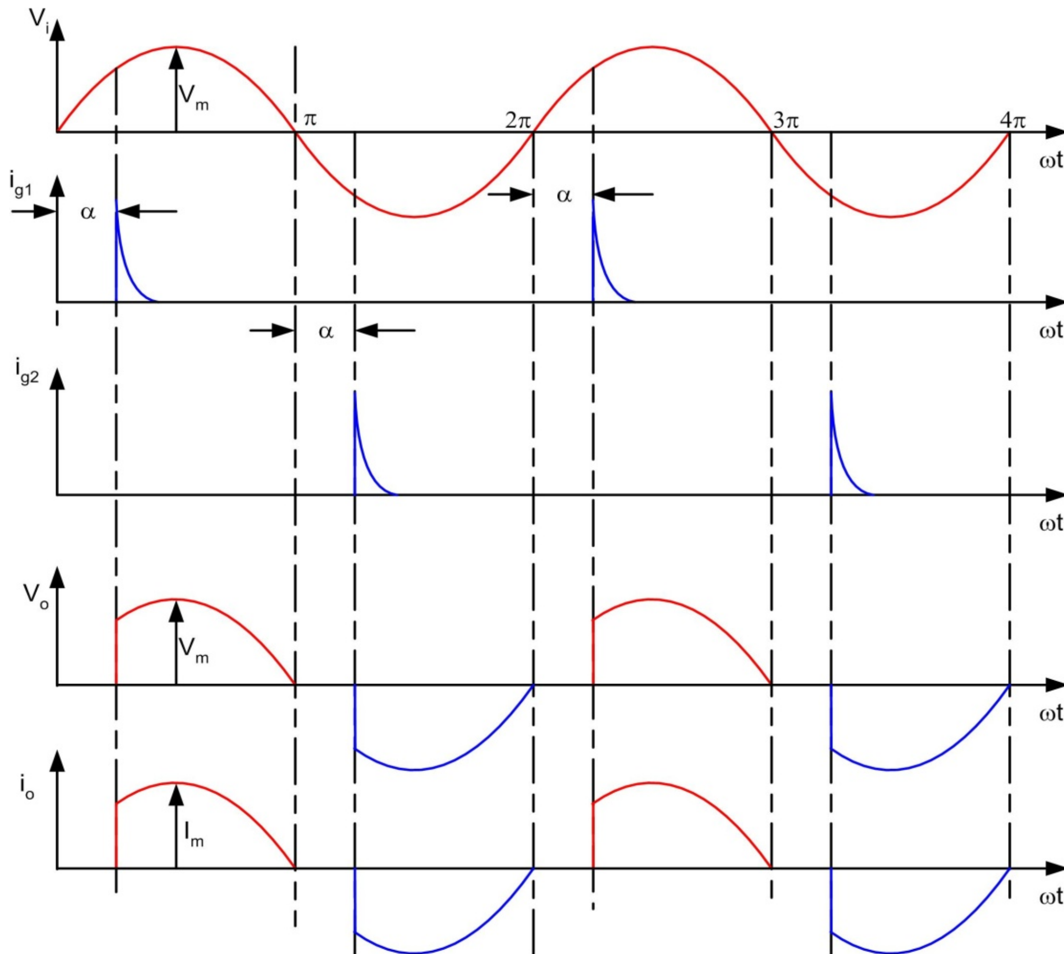
٢. التحكم في زاوية إشعال الثايرستورات Phase Control

وهذه الطريقة هي الأكثر انتشاراً حيث يتم التحكم في زاوية إشعال كل من Q_1, Q_2 وتكون أشكال الموجات كما في الشكل (2-20).



الشكل (2-19)

أشكال موجات الجهد لحاكم الجهد المتناوب (التحكم في فترات التشغيل والإيقاف)

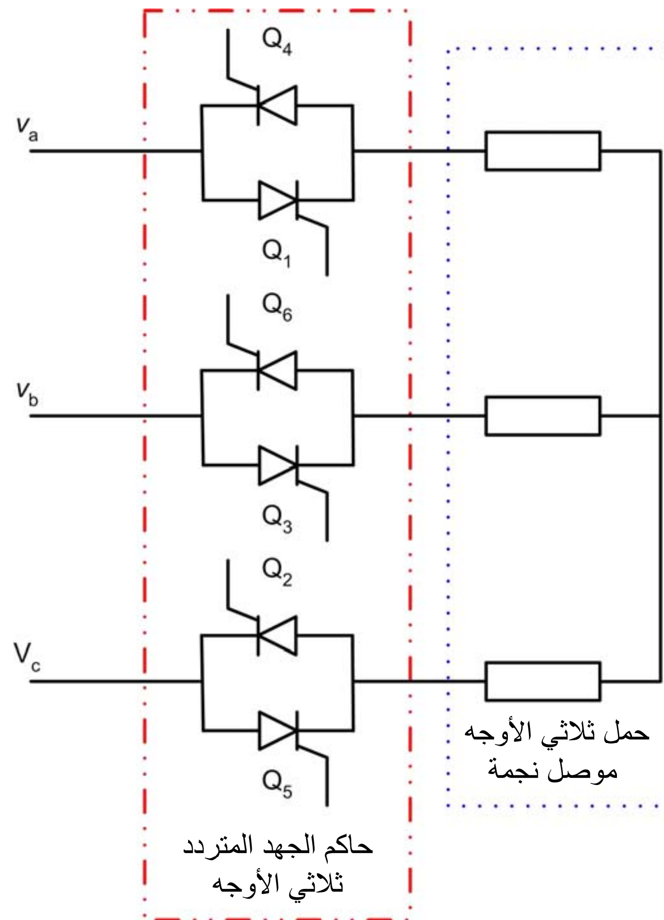


الشكل (2-20)

أشكال موجات الجهد والتيار للحاكم أحادي الوجه مع حمل (مقاومة)

التحكم في زاوية الإشعال

ويمكن تقسيم حاكمات الجهد المتناوب إلى حاكمات أحادية الوجه كما في الشكل (2-18) أو حاكمات ثلاثية الوجه كما في الشكل (2-21).



الشكل (2-21)

دائرة حاكم الجهد المتردد ثلاثي الأوجه

رابعاً: العواكس INVERTERS

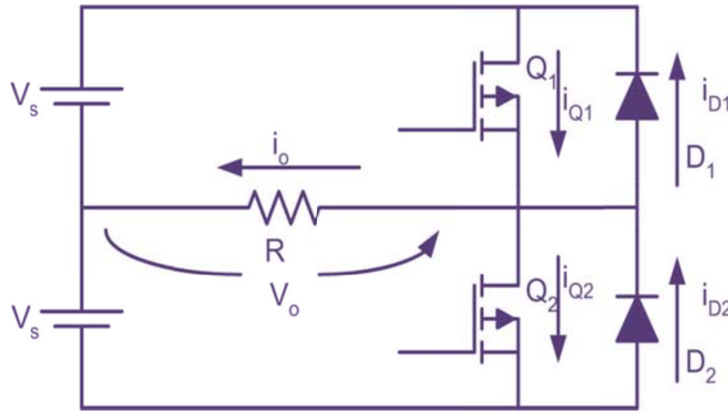
تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار متردد يمكن التحكم في جهده أو تردده أو فيهما معاً، وهناك طرق مختلفة للتحكم في قيمة الجهد الناتج من استخدام العاكس ،مثل التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل بأي من الطرق السابقة، أو التحكم في الجهد المتردد الناتج بطريقة عرض النبضة (PWM) ،بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم في الدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة.

ويعتبر العاكس من الناحية العملية عاكساً مناسباً كلما كان شكل موجة الجهد الناتجة عنه أقرب إلى الموجة الجيبيه، لذا يوصل فلتر (Filter) مكون من مقاومة ومكثف وملف على خرج العاكس للتخلص من التوافقيات غير المرغوب فيها، كما أن استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات السرعات العالية في بناء العواكس يقلل أيضا من هذه التوافقيات. وتستخدم العواكس في عدد كبير من التطبيقات الصناعية مثل مصادر القدرة غير المنقطعة (UPS) والتحكم في سرعة المحركات الحثية والمحركات المتزامنة والتي تستخدم في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى سرعات متغيرة.

ويمكن تقسيم العواكس حسب نوع الجهد الناتج إلى عواكس أحادية الوجه وعواكس ثلاثية الأوجه.

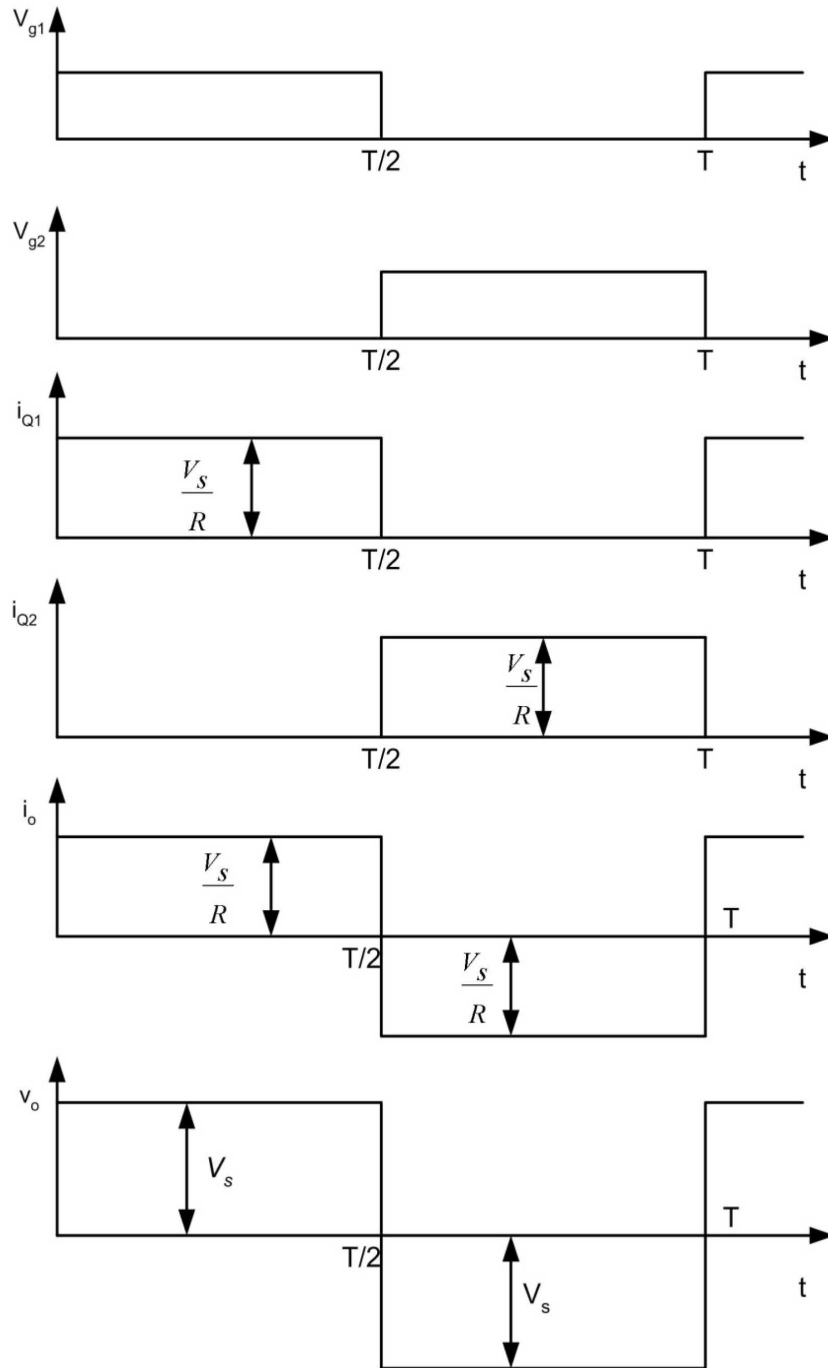
فكرة العمل

يمكن فهم فكرة عمل العواكس بدراسة الدائرة البسيطة والمبينة في شكل (2-22) وتتكون من عدد(٢) موسفت (Q_1, Q_2) و(٢) دايود (D_1, D_2) وحمل على شكل مقاومة ومصدرين للجهد المستمر قيمة كل منهم V_s عند تشغيل Q_1 يمر التيار من المصدر الأول ومن خلال Q_1 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره (V_s) وذلك طوال فترة التوصيل (T/2)، وعند تشغيل Q_2 يمر التيار من المصدر الثاني ومن خلال Q_2 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره ($-V_s$) وذلك طوال فترة التوصيل (T/2) وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (2-23) ويسمى هذا العاكس بعاكس نصف قنطرة ،وعندما يحتوي الحمل على ممانعة حثية فإن التيار في الحمل لا يمكن أن يغير اتجاهه فجأة نتيجة لإطفاء (فصل) Q_1 لذلك يستمر التيار في المرور في الحمل من خلال D_2 والمصدر السفلي حتى يصل إلى الصفر حيث يتم توصيل Q_2، وكذلك الحال بالنسبة إلى D_1 حيث يستخدم كمسار للتيار مع المصدر العلوي عند إطفاء Q_2.



الشكل (2-22)

عاكس أحادي الوجه نصف قنطرة

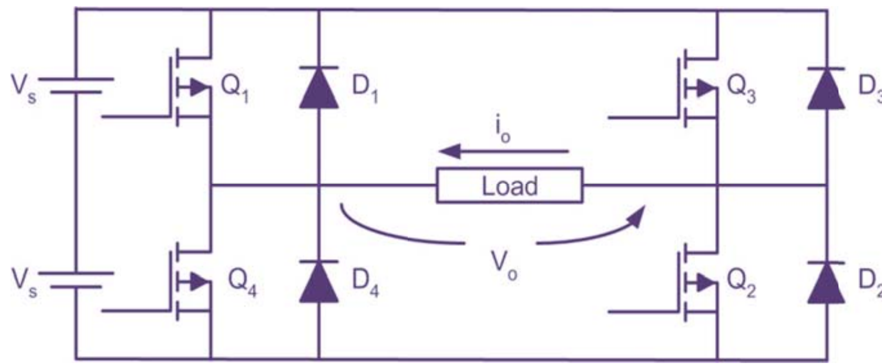


الشكل (2-23)

أشكال موجات التيار والجهد لعاكس أحادي الوجه نصف قنطرة مع حمل عبارة عن مقاومة

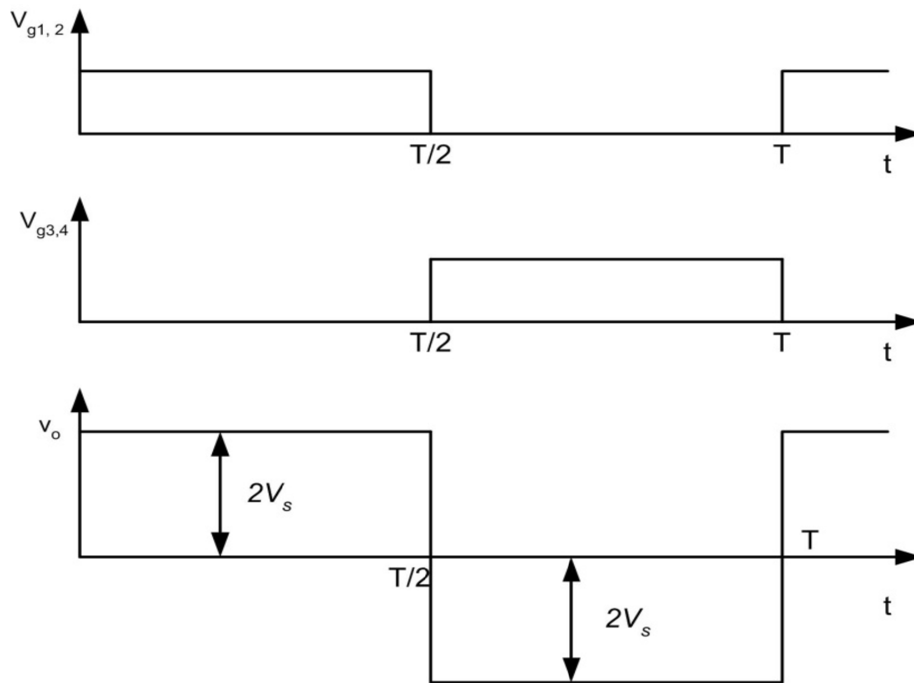
عاكس قنطرة أحادي الوجه Single Phase Bridge Inverter

يتكون من أربعة عناصر توصيل (موسفت أو ترانزستور قدرة ....الخ) وأربع دايودات يتم توصيلها على شكل قنطرة كما في الشكل (2-24)، حيث يتم تشغيل كل من Q_1, Q_2 معاً فيكون الجهد على أطراف الحمل ($2V_s$)، وعند تشغيل Q_3, Q_4 معاً يظهر الجهد ($-2V_s$) على أطراف الحمل كما في الشكل (2-25) ويستخدم كل من D_1, D_2 كمسار للتيار عند إطفاء Q_3, Q_4 وذلك حتى يصل تيار الحمل إلى صفر وفي خلال هذه الفترة تعاد القدرة إلى المصدر، وبالمثل D_3, D_4 يستخدمان لنفس الهدف عند إطفاء Q_1, Q_2.



الشكل (2-24)

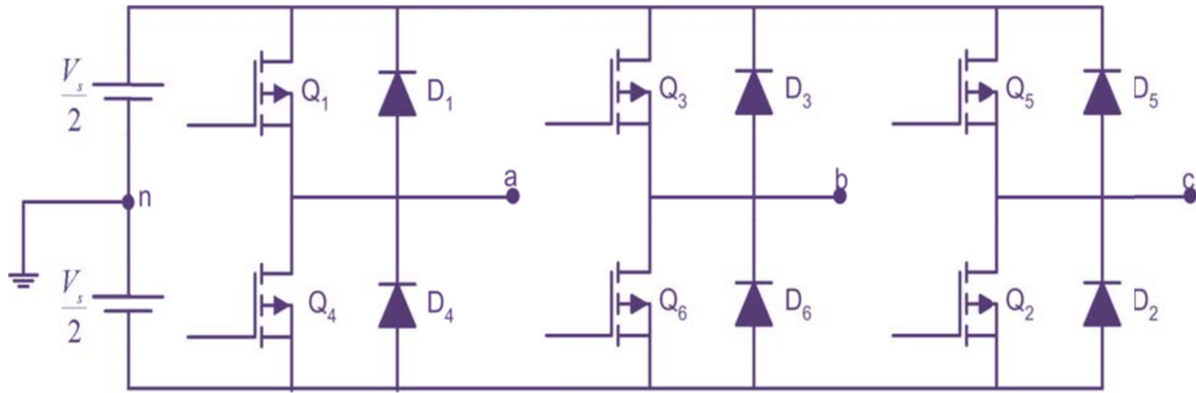
عاكس قنطرة أحادي الوجه



الشكل (2-25)

أشكال موجات التيار والجهد لعاكس قنطرة أحادي الوجه

ويمكن تقسيم العواكس إلى عواكس أحادية الوجه كما في الشكل (2-24) وعواكس ثلاثية الأوجه كما في الشكل (2-26).



الشكل (2-26)

عاكس قنطرة ثلاثي الأوجه

أسئلة الوحدة الثانية

السؤال الأول:

أ. قارن بين الموسفت والثايرستور من حيث القدرة وكيفية التشغيل. اذكر مميزات وعيوب كل منهما.

ب. ما أنواع الموحدات المحكومة ؟

ت. ارسم دائرة لموحد أحادي الوجه نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي يحتوي على مقاومة وملف عالي القيمة. ثم ارسم أشكال موجات التيار والجهد في دائرة هذا الموحد.

ث. كرر السؤال السابق في حالة الموحد المحكوم.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- إذا زادت زاوية الإشعال للموحد المحكوم فإن القيمة المتوسطة للجهد الناتج تزيد. ☐
- إذا تم استبدال موحد نصف محكوم بآخر محكوم فإن القيمة المتوسطة للجهد تقل. ☐
- الجهد الناتج من الموحد الأحادي الوجه النصف محكوم أكبر الجهد الناتج من الموحد ثلاثي الأوجه النصف محكوم الذي يعمل عند نفس زاوية الإشعال ☐
- يستخدم الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم لتدوير المحرك في اتجاه واحد فقط. ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم لعمل فرملة بإعادة التوليد ☐
- يمكن استخدام الموحد المزدوج الأحادي الوجه في أربع حالات تشغيل مختلفة ☐
- يستخدم الموحد ثلاثي الأوجه النصف المحكوم للتدوير الأمامي فقط ☐
- يستخدم الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجه المحكوم للتدوير الأمامي فقط ☐
- يستخدم مقطع التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر إلى تيار متردد ☐
- في مقطع التيار المستمر من النوع الخافض تكون نسبة التشغيل أقل من واحد ☐
- في مقطع التيار المستمر من النوع الرافع تكون نسبة التشغيل أكبر من واحد ☐
- إذا زادت زاوية الإشعال في الموحد المحكوم فإن القيمة المتوسطة للجهد تزيد. ☐
- إذا زادت نسبة التشغيل لمقطع التيار المستمر تزيد القيمة المتوسطة للجهد ☐

السؤال الثالث:

أ. اشرح فكرة عمل مقطع التيار المستمر

ب. ما استخدامات مقطع التيار المستمر من النوع الرافع ؟

السؤال الرابع:

أ.اذكر استخدامات حاكمات الجهد المتناوب.

ب.اذكر طرق التحكم في القيمة الفعالة للجهد الناتج من حاكم الجهد المتناوب واشرح واحدة منها بالتفصيل.

ت.اذكر فائدة استخدام العواكس في الصناعة.

ث.ارسم عاكس قنطرة أحادي الوجه، ثم ارسم أشكال موجات الجهد والتيار في العاكس.

السؤال الخامس:

موحد أحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وكان جهد مصدر التيار المتردد 208 v. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة ثم احسب:

أ. زاوية الإشعال إذا كان تيار الحمل 15 A

ب. القدرة المسحوبة من المصدر Ps

ت. عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون 135^o احسب القدرة المستردة إلى المصدر.

السؤال السادس:

موحد ثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها 10Ω وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصلاً نجمة وجهده 208 v احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال 45^o.

الوحدة الثالثة

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة

الهدف العام للوحدة: اختيار دائرة الموحدات المحكومة المناسبة للمحرك وظروف التشغيل

الأهداف التفصيلية:

١. أن يعرف المتدرب الأنواع المختلفة لدوائر التوحيد المحكومة ومدى ملاءمة كل منها للمحرك وظروف التشغيل

٢. أن يعرف المتدرب كيفية استخدام دوائر التوحيد المحكومة للسيطرة على أداء المحرك والتحكم في سرعته

الوحدة الثالثة : التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة

تستخدم محركات التيار المستمر بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تتطلب محركات متغيرة السرعة، وذلك لما تمتاز به هذه المحركات من مميزات مختلفة سبق عرضها في الوحدة الأولى ،ولقد ساعد على ذلك أيضاً التقدم الهائل في صناعة عناصر إلكترونيات القدرة ودوائرها ،التي سهلت عملية التحكم في المحركات الكهربائية باستخدام مغيرات القدرة (Power Converters)، والتي تتميز بصغر الحجم والدقة العالية، ويمكن تقسيم مغيرات القدرة إلى أربعة أنواع سبق عرضها في الوحدة الثانية. ومن هذه المغيرات الموحدات المحكومة. التي تستخدم للسيطرة على أداء محركات التيار المستمر عندما يكون مصدر التغذية المتوفر من النوع المتردد ،وهو ما سوف نتناوله في هذه الوحدة. ويمكن تقسيم التدوير الكهربائي لمحركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة إلى نوعين هما : التدوير باستخدام الموحدات المحكومة أحادية الوجه ،والتدوير باستخدام الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه.

وقبل الدخول في تفاصيل كل نوع ،من المناسب لنا أن نستعرض طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر، ولكي يتسنى لنا ذلك فلنبدأ بكتابة معادلة السرعة لمحرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة والتي سبق عرضها في الوحدة الأولى

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_v I_f} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

I_f تيار المجال (A)

K_v ثابت الجهد للمحرك(V/A-rad./s)

ω سرعة المحرك(rad./s)

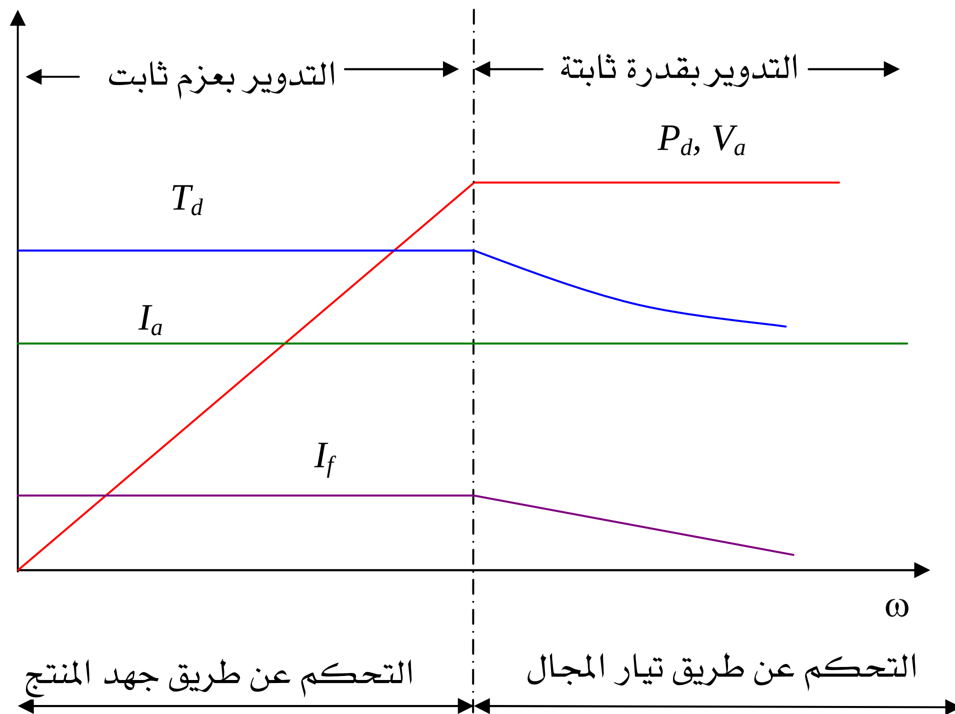
من المعادلة (3-1) يمكن أن نستنبط أنه يمكن التحكم في سرعة المحرك بثلاث طرق نستعرضها فيما يلي:

إضافة مقاومة على التوالي في دائرة المنتج: حيث إن زيادة هذه المقاومة تقلل السرعة وتتميز هذه الطريقة بالبساطة، ولكن لها عيوب كثيرة مثل المفاقيد النحاسية العالية ،وكبر الحجم ،وتلويث الجو المحيط .....إلخ. لذلك فإن استخدامها عملياً قليل بالمقارنة بالطرق الأخرى.

التحكم في تيار المجال: حيث تتناسب السرعة عكسياً مع تيار المجال وتتميز هذه الطريقة أيضاً بالبساطة إلا أنها لا تصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة ،كما أن تقليل التيار يضعف العزم المتولد بالإضافة إلى أن استخدامها يحتاج لحرص كبير حتى لا يصل تيار المجال إلى صفر لخطورة ذلك.

التحكم في جهد المنتج: وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة ،بالإضافة إلى أن العلاقة بين السرعة وجهد المنتج تقريباً علاقة خطية ،ولكن هذه الطريقة لا تصلح للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة.

ولذلك ففي الحياة العملية تستخدم الطريقة الثالثة للتحكم في سرعة محرك التيار المستمر للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة ،بينما تستخدم الطريقة الثانية للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة



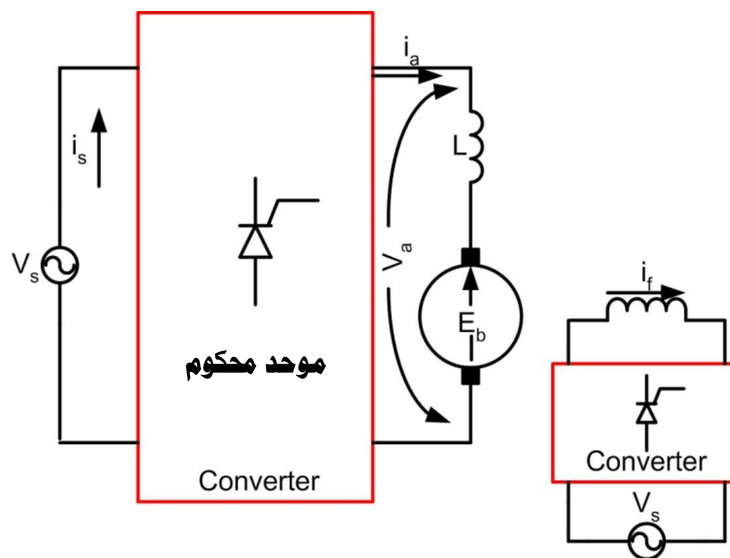
الشكل (3-1)

العلاقة بين كل من العزم والقدرة والجهد وتيار المنتج وتيار المجال مع السرعة

ويوضح الشكل (3-1) علاقات العزم المتولد"T_d" والقدرة "P_d" وجهد المنتج "V_a" وتيار المنتج "I_a" وتيار المجال "I_f" مع السرعة "ω" ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسين. في الجزء الأول تكون السرعة أقل من السرعة المقننة ويتم التحكم في السرعة عن طريق جهد المنتج "V_a" ويكون العزم ثابتاً وكذا كل من تيار المجال وتيار المنتج، بينما في الجزء الثاني يتم التحكم في السرعة عن طريق تيار المجال "I_f" حيث تكون قيمة كل من القدرة وتيار المنتج وجهد المنتج ثابتة.

أولا: التدوير باستخدام الموحدات أحادية الوجه المحكومة Single Phase Drives

تستخدم الموحدات أحادية الوجه عندما يكون مصدر التغذية المتوفر أحادي الوجه وتصلح للتحكم في المحركات الصغيرة والتي لا تزيد قدرتها عن 15 KW ،في هذه يتم استخدام موحد أحادي الوجه أو أكثر ،بهدف السيطرة على أداء المحرك والتحكم فيه، من خلال زاوية إشعال الموحد. ويستخدم الموحد في دائرة المنتج للتحكم في جهد المنتج "V_a" عن طريق زاوية الإشعال "α_a" أو في دائرة المجال للتحكم في تيار المجال "I_f" عن طريق زاوية الإشعال "α_f". ويمثل الشكل (3-2) الدائرة الأساسية لكيفية التحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة باستخدام الموحدات المحكومة وتتكون من محرك التيار المستمر وملف تنعيم ذي قيمة عالية لتنعيم تيار المنتج ومصدر للتيار المتردد أحادي الوجه وموحد أحادي الوجه محكوم للتحكم في تيار المجال وآخر للتحكم في تيار المنتج.



الشكل (3-2)

الدائرة الأساسية للتدوير من خلال الموحدات المحكومة

ويمكن تقسيم التدوير الكهربائي من مصدر أحادي الوجه إلى أربعة أنواع:

التدوير من خلال الموحد النصف الموجة المحكوم
"Single Phase Half Converter Drives"

التدوير من خلال الموحد الكاملة النصف المحكوم
"Single Phase Semi-converter Drives"

التدوير من خلال الموحد الكاملة الموجة المحكوم
"Single Phase Full Converter Drives"

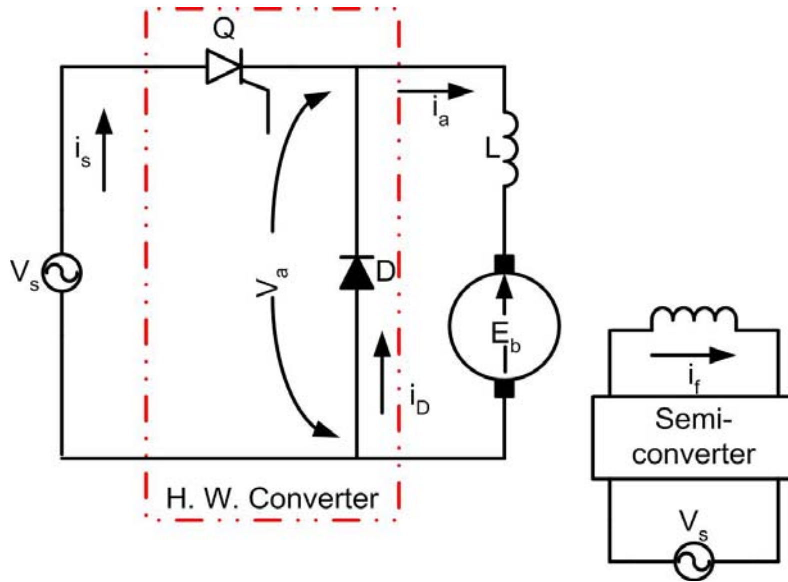
التدوير من خلال المغير المزدوج " Single Phase Dual Converter Drives"

وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع فيما يلي

التدوير من خلال الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم

Single Phase Half Converter Drives

عند استخدام هذا الموحد يكون تيار المنتج غير متصل ،مما يسبب سوءاً في أداء المحركات عالية القدرة ،ولذلك لا تستخدم هذه الطريقة إلا نادراً في التطبيقات الصناعية، حيث يقتصر استخدامه على المحركات صغيرة القدرة وفي حدود 0.5 KW.



الشكل (3-3)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه النصف الموجة المحكوم

الشكل (3-3) يبين دائرة الموحد أحادي الوجه نصف الموجة ،والتي تتكون من ثايرستور ودايود حذافة وملف تنعيم. وينتج عن هذا الموحد جهد موجب وتيار موجب "One quadrant" ومن الصعب استخدام الموحد نصف الموجة في دائرة المجال ،لأنه في حالة استخدامه فإن تيار

المجال سيحتوي على كثير من التذبذبات غير المرغوب فيها، ولذلك يستخدم الموحد كامل الموجة نصف المحكوم في دائرة المجال كما في الشكل (3-3)، وعلى ذلك يكون جهد المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{2\pi}\left(1 + Cos\alpha_a\right) \qquad (3\text{-}2)$$

وجهد المجال الناتج من الموحد الأحادي الوجه نصف المحكوم:

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}\left(1 + Cos\alpha_f\right) \qquad (3\text{-}3)$$

الشكل (3-4)

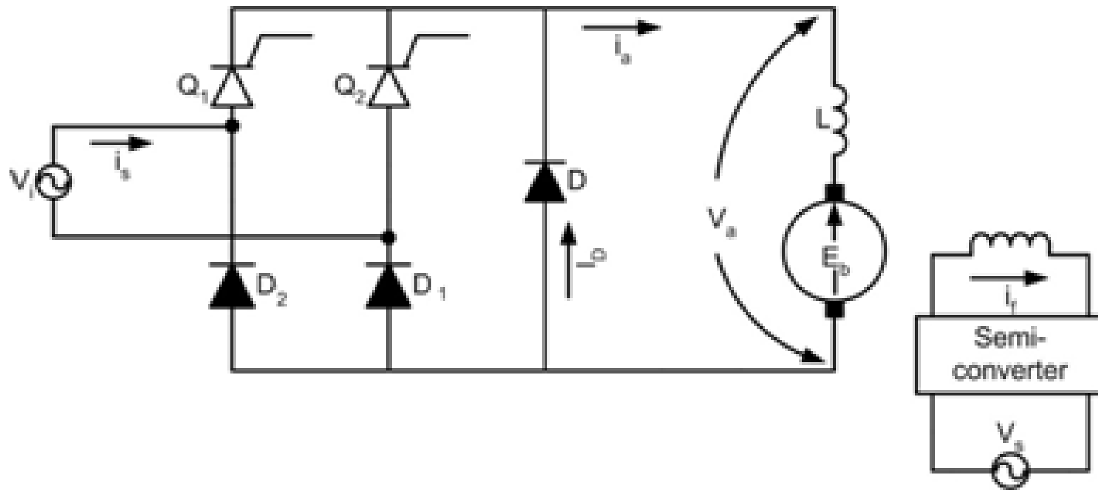
أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد نصف الموجة المحكوم

ويتم التحكم في المحرك عن طريق جهد المنتج بالتحكم في α_a ، بينما يتم التحكم في تيار المجال عن طريق التحكم في α_f. ويبين الشكل (3-4) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج ،ويلاحظ أن تيار المنتج متصل بسبب استخدام ملف التنعيم العالي القيمة.

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة النصف المحكوم

Single Phase Semi-converter Drives

يستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية بحد أعلى 15 KW وفي حالات التدوير الأمامي فقط ،حيث يستخدم الموحد الكامل الموجة النصف المحكوم في كل من دائرة المنتج والمجال كما في الشكل (3-5)،



الشكل (3-5)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}4)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}5)$$

وكما هو واضح من المعادلات السابقة فإنه يمكن التحكم في جهد المنتج من خلال زاوية الإشعال في دائرة المنتج (α_a)، بينما يمكن التحكم في تيار المجال من خلال زاوية الإشعال في دائرة المجال (α_f). الشكل (3-6) يوضح أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج. ومن الواضح أن هذا الموحد ينتج جهداً وتياراً موجبين (one quadrant).

الشكل (3-6)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة النصف محكوم

مثال (1-3):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/s وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm . اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة واحسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك

الحل

$V_s = 208$ V $\quad n = 700$ rpm $\quad R_f = 150\ \Omega \quad R_a = 0.1\ \Omega$

$T_L = 75$ N.m $\quad K_v = 1.1$ V/A.rad./s.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 75$ N.m

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 700}{60} = 73.3\ rad/s$$

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156\ V$$

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر $\alpha_f = 0$

$$V_f = \frac{V_m}{\pi}(1 + cos\alpha_f) = \frac{294.156}{\pi}(1 + \cos 0) = 187.266\ V$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{187.266}{150} = 1.248\ A.$$

$$I_a = \frac{T_d}{K_t \times I_f} = \frac{75}{1.1 \times 1.248} = 54.64\ A$$

$E_b = K_v\, \omega\, I_f = 1.1 \times 73.3 \times 1.248 = 100.62$ V

$V_a = E_b + I_a R_a = 100.62 + 54.64 \times 0.1 = 106.1$ V

بالتعويض في المعادلة (3-4) نجد أن قيمة زاوية الإشعال في دائرة المنتج

$\alpha_a = 82.3^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند $(\alpha_a = 0)$ وعلى ذلك فإن:

$$V_a = \frac{V_m}{\pi}(1 + Cos\,\alpha_a) = 187.266\text{V}$$

$E_b = V_a - I_a R_a = 181.8$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{181.8}{(1.1)(1.248)} = 132.43 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1264.655 \text{ rpm}$$

ت) لزيادة السرعة إلى 1400 rpm يتم ذلك عن طريق تيار المجال وفي هذه الحالة يكون كل من تيار المنتج وجهد المنتج ثابتين (تدوير بقدرة ثابتة) ولكن العزم المتولد سيقل نتيجة لتقليل تيار المجال.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1400)}{60} = 146.6 \qquad \text{rad/s}$$

$E_b = V_a - I_a R_a = 187.266 - 54.64 \times 0.1 = 181.8$ V

$$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{181.8}{(1.1)(146.6)} = 1.127 \qquad \text{A.}$$

$V_f = I_f . R_f = 169.1$ V

$169.1 = 93.633(1 + Cos\ \alpha_f)$

$\alpha_f = 36.3^o$

$T_d = K_v I_f I_a = 67.6$ N.m

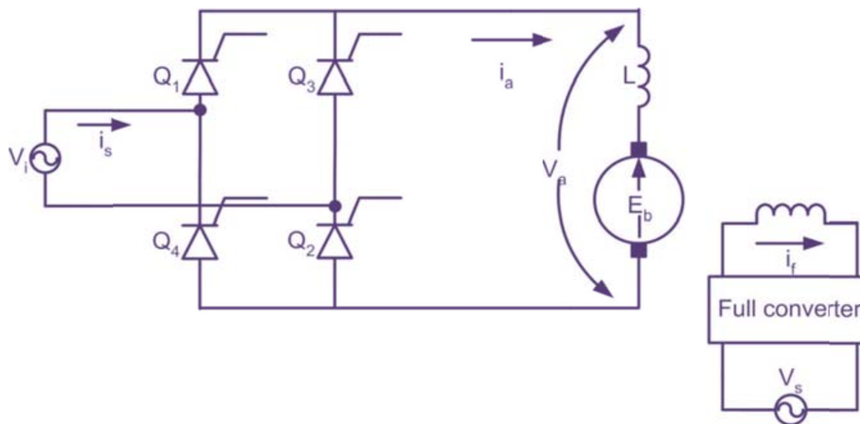
التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الكاملة الموجة المحكوم

Single Phase Full Converter Drives

يتكون الموحد المحكوم من قنطرة تحتوي على أربعة عناصر توحيد كما في شكل 3-7 جميعها ثايرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4).ولا يوجد في هذه الحالة دايود حذافة.

في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثايرستور "Q_1"،"Q_2" في حالة انحياز أمامي لذلك يتم إشعالهما عند زاوية "α" ويمر التيار من المصدر إلى المنتج من خلال "Q_1, Q_2" ويستمر مرور التيار حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالباً وذلك بسبب المحاثة العالية للحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_3, Q_4" عند زاوية "$\pi+\alpha$" ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل، ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثايرستور "Q_1"، "Q_2" عند زاوية "$2\pi+\alpha$". ويتكرر ذلك مع كل دورة، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (3-8).

ويلاحظ أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجباً أو سالباً على حسب قيمة زاوية الإشعال، فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من 90^o يكون الجهد موجبا ،بينما يكون سالباً إذا كانت أكبر من 90^o، أما تيار الحمل فيكون دائماً موجباً، لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد"Two quadrant". وتصل القدرات التي يستخدم فيها هذا الموحد إلى 15 KW مثل الموحد النصف محكوم ولكن الموحد المحكوم يتميز بأنه يمكن استخدامه عند إعادة التوليد ،حيث يتم عكس اتجاه القدرة، وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة ،والذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال



الشكل (3-7)

التدوير باستخدام الموحد الأحادي الوجه الموجة الكاملة المحكوم

وعلى ذلك يكون الجهد المتوسط المسلط على المنتج:

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_a\right) \qquad (3\text{-}4)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) \qquad (3\text{-}5)$$

الشكل (3-8)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد الأحادي الوجه الكامل الموجة المحكوم

مثال (2-3):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V عند تردد 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.35 V/A-rad/s وكان تيار المنتج 50 A. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^o . وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك

ب. إذا قل العزم بمقدار 20% احسب سرعة المحرك

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وكذا زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ثم احسب القدرة المستردة للمصدر

الحل

$V_s = 440$ V　　$I_a = 50$ A　　$R_f = 200\ \Omega$　　$R_a = 0.2\ \Omega$

$\alpha_a = 60^o$　　$K_v = 1.35$ V/A.rad./s. $\alpha_a = 60^o$

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L$　　$V_m = 440\sqrt{2} = 622.25$ V

أ)

أقصى قيمة لتيار المجال تحدث عندما تكون زاوية الإشعال في دائرة المجال مساوية للصفر $(\alpha_f = 0^o)$

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) = 396.14 \quad \text{V}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = 1.98 \quad \text{A.}$$

$$T_d = K_v I_f . I_a = 133.65 \quad \text{Nm.}$$

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) = 198.07 \quad \text{V}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 188.7 \quad \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{188.7}{(1.35)(1.98)} = 70.36 \quad \text{rad/s}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 671.88 \quad \text{rpm}$$

ب) إذا قل العزم بمقدار 20% يقل تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$T_d = 0.8(133.65) = 106.92$ Nm.

$$I_a = 0.8(50) = 40 \quad \text{A}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 198.07 - 40(0.2) = 190.7 \quad \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{190.07}{(1.35)(1.98)} = 71.1 \quad \text{rad/s}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 679 \quad \text{rpm}$$

ت) إذا عكس اتجاه المجال فإن اتجاه القوة الدافعة المضادة يكون سالباً.

$$E_b = -190.07 \quad \text{V}$$

$$V_a = E_b + I_a R_a = -190.07 + 40(0.2) = -182.07 \quad \text{V}$$

$$-182.07 = V_a = \frac{2V_m}{\pi}(Cos\alpha_a) = 396.14(Cos\alpha_a)$$

$$\alpha_a = 117.36^o$$

القدرة المستردة للمصدر

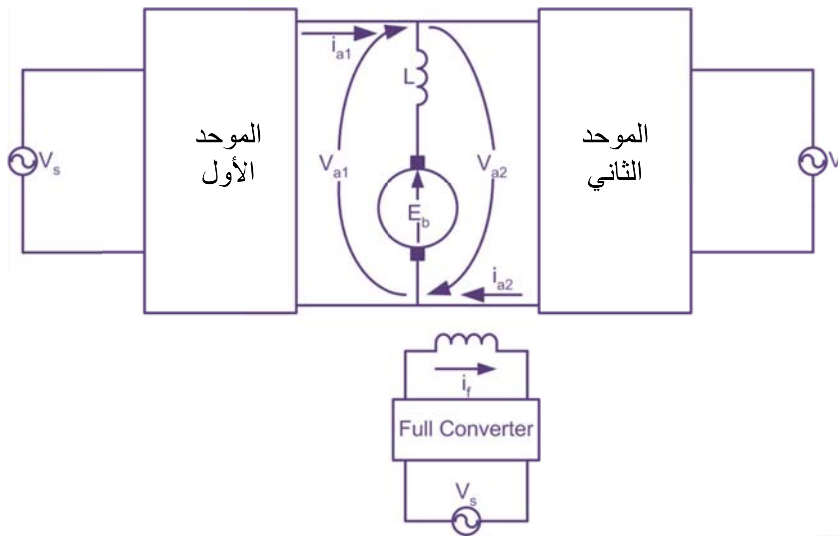
$$P_s = P_a = V_a I_a = (-182.07)(40) = -72828 \quad \text{Watt}$$

التدوير باستخدام الموحد المزدوج الأحادي الوجه

Single Phase Dual Converter Drives

يستخدم الموحد المزدوج بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة. في هذه الحالة يتم توصيل موحدين محكومين في دائرة المنتج، بينما يتم توصيل موحد محكوم في دائرة المجال كما في الشكل (9-3)، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف المنتج وأيضاً عكس التيار في دائرة المنتج (Four quadrant)، فعند تشغيل الموحد الأول يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a1} ويكون التيار المار في المنتج I_{a1} حيث يتم تشغيل المحرك في الربع الأول (التدوير الأمامي) ويمكن عمل (الفرملة أمامية) وذلك

بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الأول لتكون أكبر من 90^o (يعمل المحرك في الربع الثاني) الفرملة الأمامية. وإذا أريد عكس حركة المحرك فيتم تشغيل الموحد الثاني بدلا من الموحد الأول ،حيث يكون الجهد على أطراف المنتج V_{a2} (عكس V_{a1}) والتيار المار به I_{a2} (عكس I_{a1})، لذلك يعمل المحرك في (الربع الثالث) التدوير العكسي عكس الحالة الأولى، ويمكن أيضاً فرملة المحرك في هذه الحالة ،وذلك بعكس قطبية المجال وزيادة زاوية الإشعال للموحد الثاني لتكون أكبر من 90^o. ويلاحظ أن اتجاه المجال سيعكس في حالتي الفرملة.



الشكل (3-9)

التدوير باستخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a1}\right) \quad (3-6)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_{a2}\right) \quad (3-7)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{2V_m}{\pi}\left(Cos\alpha_f\right) \quad (3-8)$$

ثانيا : التدوير باستخدام الموحدات ثلاثية الأوجه المحكومة: Three Phase Drives

تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات الأحادية الوجه، كما أن تردد التذبذبات يكون عالياً، ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات الأحادية الوجه، ولذلك فإنها تستخدم للسيطرة على محركات التيار المستمر ذات القدرات العالية التي قد تصل إلى عدد من الميجاوات ،وينقسم التدوير باستخدام الموحدات ثلاثية الأوجه المحكومة إلى أربعة أنواع مشابهة لتلك في حالة الموحدات أحادية الوجه المحكومة ،وسوف نتناول كل نوع منها باختصار فيما يلي:

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة المحكوم

Three Phase Half-Wave Converter Drives

يتكون الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة من ثلاث ثايرستورات" Q_1,Q_2,Q_3 " توصل بين المصدر والمنتج ،بينما يستخدم الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة نصف المحكوم في دائرة المجال كما في الشكل (3-10)

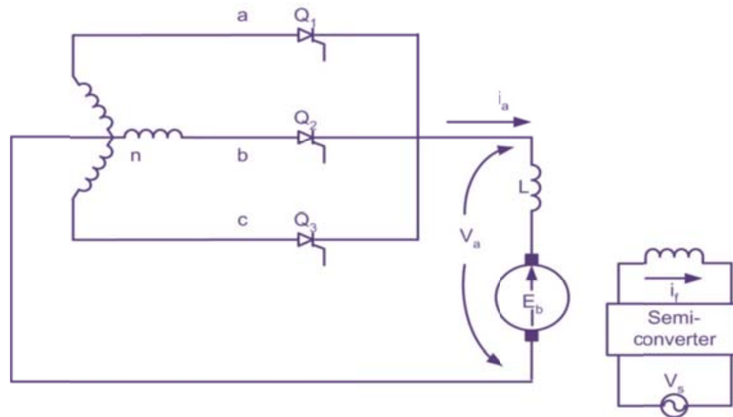
ويستخدم هذا النوع في التطبيقات الصناعية التي تتطلب قدرات تصل إلى 40KW وباستخدام الموحد الثلاثي الأوجه يكون الجهد الناتج عنه والمسلط على ملفات المنتج إما موجباً أو سالباً ،بينما يكون التيار موجباً "Two Quadrant" ولذلك يستخدم في حالات التدوير الأمامي والفرملة الأمامية ولذلك يكون جهد المنتج

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} Cos\alpha_a \qquad (3\text{-}9)$$

وجهد المجال

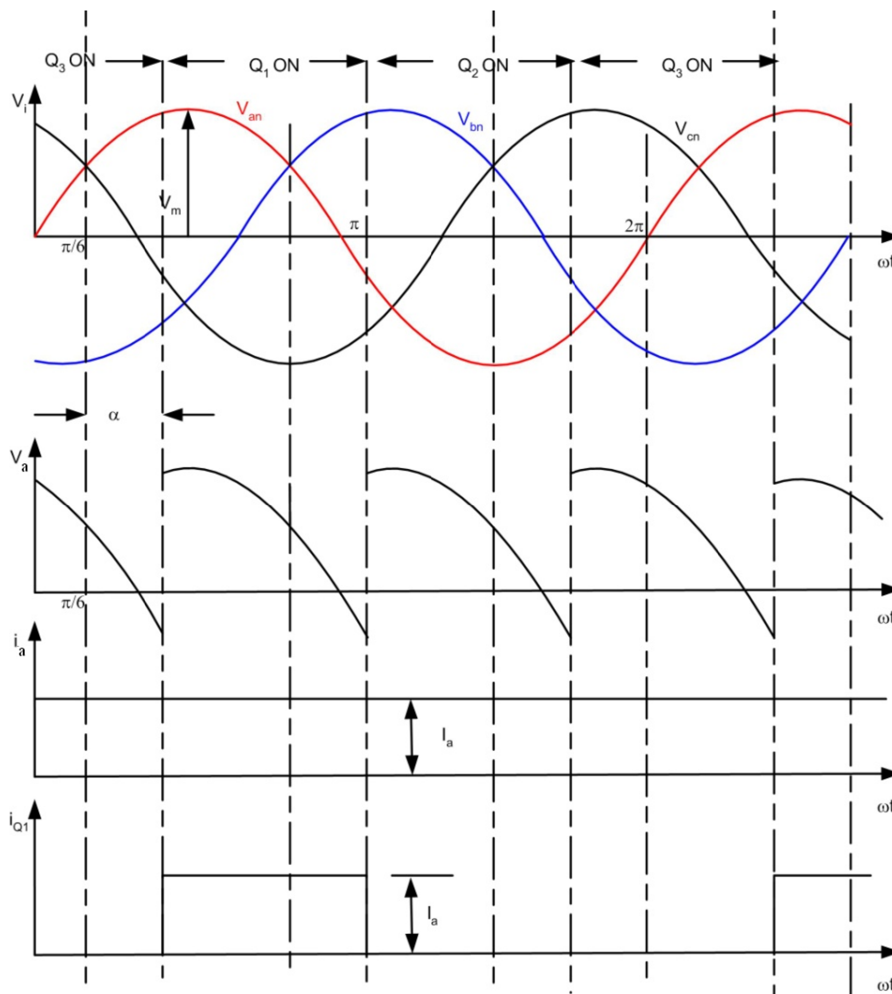
$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}10)$$

ويوضح الشكل (3-11) أشكال موجات الجهد والتيار في دائرة المنتج



الشكل (3-10)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة



الشكل (3-11)

أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكامل الموجة النصف المحكوم

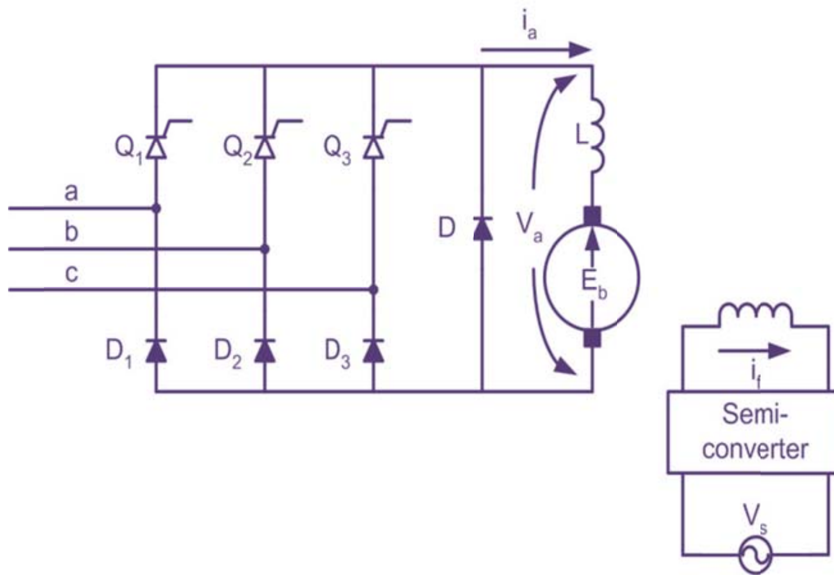
Three Phase Semi-converter Drives

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثايرستورات وثلاثة دايودات ،يتم توزيعهما على شكل قنطرة ،بالإضافة إلى دايود حذافة كما في الشكل (3-12) ،حيث يستخدم الموحد النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال ،ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب أيضا (حالات التدوير الأمامي فقط) "One quadrant" ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة ،حيث تصل قدرته إلى 115 KW ويكون جهد المنتج

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}11)$$

ويكون جهد المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}12)$$



الشكل (3-12)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة النصف المحكوم

مثال (3-3)

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد الثلاثي الأوجه جهده 208V وتردده 60 Hz موصل نجمة وذلك من خلال الموحد الثلاثي الأوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال فإذا ضبط تيار المجال عند 1 A وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 250 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/s وكان عزم الحمل 120 Nm. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 30^o. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المجال وسرعة المحرك

ب. إذا زاد الحمل بنسبة 20% احسب سرعة المحرك

ت. احسب قيمة زاوية الإشعال لتعود السرعة لسابق قيمتها كما في الحالة أ

الحل

$V_s = 208$ V $I_f = 1$ A $R_f = 250\ \Omega$ $R_a = 0.2\ \Omega$

$\alpha_a = 30^o$ $K_v = 1.2$ V/A.rad./s. $\alpha_a = 60^o$ $T_L = 120$ Nm.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 120$ Nm $V_m = 208\dfrac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83$ V

أ)

$$V_f = I_f R_f = 1\times250 = 250 \quad \text{V}$$

$$250 = V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+Cos\alpha_f) = 140.45(1+\text{Cos}\ \alpha_f)$$

$$\alpha_f = 38.74^o$$

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+cos\alpha_a) = 140.45(1+\text{Cos}\ \alpha_a) = 262.08 \quad \text{V}$$

$$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{120}{(1.2)(1.0)} = 100 \quad \text{A}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = 262.08 - 100\times0.2 = 242.08 \quad \text{V}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{242.08}{(1.2)(1.0)} = 201.73 \quad \text{rad/s}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1926.38 \quad \text{rpm}$$

ب) إذا زاد العزم بمقدار 20% يزيد تيار المنتج بنفس النسبة وعلى ذلك فإن:

$T_d = 1.2(120) = 144$ Nm.

$I_a = 1.2(100) = 120$ A

$E_b = V_a - I_a R_a = 262.08 - 120(0.2) = 238$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{238.08}{(1.2)(1.0)} = 198.4 \quad \text{rad/s}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1894.58 \quad \text{rpm}$$

ت) لكى تعود السرعة لقيمتها السابقة فإن جهد المنتج يجب أن يزيد حتى تعود E_b لقيمتها السابقة.

$E_b = 242.08$ V

$242.08 = V_a - I_a R_a = V_a - 120(0.2)$

$$V_a = 266.08 = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1 + Cos\alpha_a) = 140.45(1 + Cos\ \alpha_a)$$

$\alpha_a = 26.6^o$

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكامل الموجة محكوم

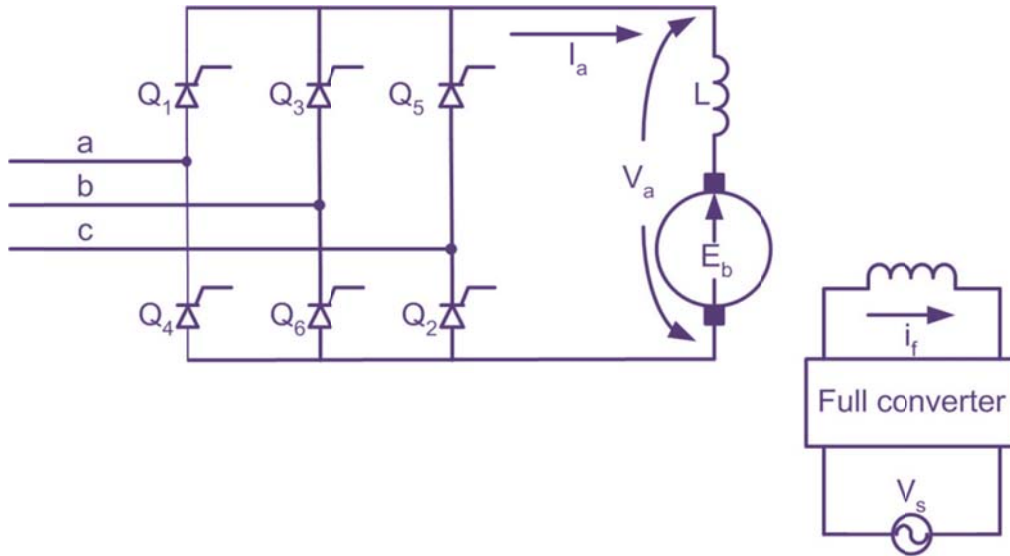
Three Phase Full Converter Drives

في هذه الحالة يتم توصيل الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم في كل من دائرة المنتج ودائرة المجال كما في الشكل (3-13)، ولذلك فإن جهد المنتج إما أن يكون موجباً أو سالباً على حسب قيمة زاوية الإشعال أما التيار فيكون موجباً فقط "Two quadrant"، ولذلك يمكن استخدامه في التدوير الأمامي، وعند عمل الفرملة بإعادة التوليد، حيث يتم عكس اتجاه القدرة وذلك بعكس القوة الدافعة المضادة. الذي يتم بعكس قطبية الجهد في دائرة المجال (زاوية الإشعال في دائرة المجال تكون أكبر من 90^{o}) ويكون الجهد المتوسط في دائرة المنتج

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(cos\alpha_a) \qquad (3\text{-}13)$$

ويكون الجهد المتوسط في دائرة المجال

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(cos\alpha_f) \qquad (3\text{-}14)$$



الشكل (3-13)

التدوير باستخدام الموحد الثلاثي الأوجه الكاملة الموجة المحكوم

مثال (4-3):

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الثلاثي الأوجه المحكوم في دائرة المنتج ، وأخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد الثلاثي الأوجه موصلاً نجمة جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.25 Ω ومقاومة ملفات المجال 180 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/s وعزم الحمل 115 Nm. عند سرعة 900 rpm. وضبطت زاوية الإشعال في دائرة المجال عند 20^o اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج.

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج.

ت. احسب قيمة α_f للحصول على سرعة 1800 rpm .

الحل

$V_s = 208$ V　　$n = 900$ rpm　　$R_f = 180\ \Omega$　　$R_a = 0.25\ \Omega$

T_L=115 N.m　　$K_v = 1.2$ V/A.rad./s.　　$\alpha_f = 20^o$

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 115$ N.m

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 94.25 \text{ rad/s} \qquad V_m = 208\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \quad \text{V}$$

أ)

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(\cos\alpha_f) = 280.897\ (\text{Cos } 20) = 263.956 \quad \text{V}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{263.956}{180} = 1.466 \quad \text{A.}$$

$$E_b = K_v\ \omega\ I_f = 165.85 \quad \text{V}$$

$$I_f = \frac{T_d}{K_t I_f} = \frac{115}{1.2\times1.466} = 65.37 \quad \text{A}$$

$$V_a = E_b + I_a R_a = 165.85+(65.37)(0.25)=182.19 \quad \text{V}$$

$182.19 = V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(cos\alpha_a) = 280.897\ (\mathrm{Cos}\ \alpha_a)$

$\alpha_a = 49.56^o$

ب) أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج تنتج عند $(\alpha_a = 0)$ وعلى ذلك فإن:

$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(cos\alpha_a) = 280.897$ V

$E_b = V_a - I_aR_a = 280.897-(65.37)(0.25) = 264.55$ V

$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{264.55}{(1.2)(1.466)} = 150.38$ rad/s

$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1436.06$ rpm

ت) لزيادة السرعة إلى 1800 rpm يجب تقليل تيار المجال وفي هذه الحالة يكون كل من تيار المنتج وجهد المنتج ثابتين (تدوير بقدرة ثابتة) ولكن العزم المتولد سيقل نتيجة لتقليل تيار المجال.

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1800)}{60} = 188.496$ rad/s

$E_b = V_a - I_aR_a = 264.5$ V

$I_f = \frac{E_b}{K_v \omega} = \frac{264.5}{(1.2)(188.496)} = 1.169$ A.

$V_f = I_f.R_f = 210.42$ V

$210.42 = 280.897(\mathrm{Cos}\ \alpha_f)$

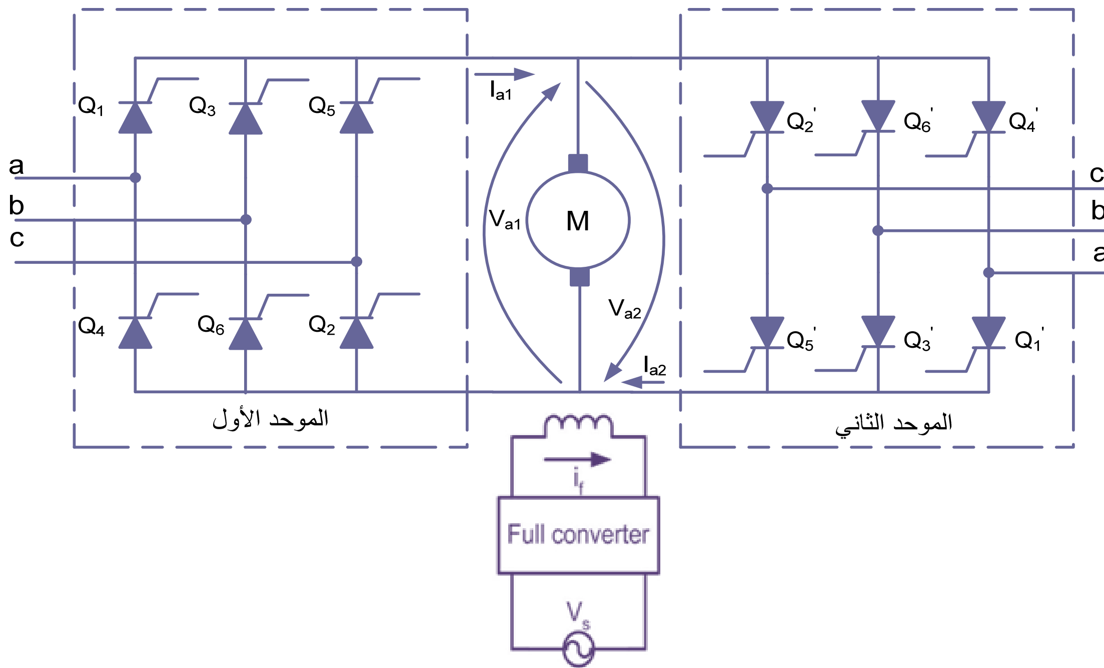
$\alpha_f = 41.49^o$

$T_d = K_v I_f I_a = 91.7$ N.m

التدوير باستخدام الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه

Three Phase Dual Converter Drives

هذه الحالة مماثلة تماما للتدوير باستخدام الموحد المزدوج الأحادي الوجه الموحدات المستخدمة ستكون من النوع الثلاثي الأوجه. شكل ٣- ١٤ يعرض هذا النوع من الموحدات والذي يستخدم بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة ،وتستخدم في أربع حالات تدوير مختلفة ،حيث من الممكن الحصول على جهد موجب أو سالب، وكذا من الممكن الحصول على تيار موجب أو سالب.



الشكل (3-14)

التدوير باستخدام الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه المحكوم

في حالة تشغيل الموحد الأول يكون جهد المنتج:

$$V_{a1} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a1}) \quad (3\text{-}15)$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني يكون جهد المنتج:

$$V_{a2} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_{a2}) \quad (3\text{-}16)$$

بينما الجهد على أطراف المجال:

$$V_f = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(Cos\alpha_f) \quad (3\text{-}17)$$

أسئلة الوحدة الثالثة

السؤال الأول:

أ. وضح بالرسم فقط منحنيات كل من القدرة والعزم وتيار المنتج وتيار المجال وذلك عند التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة من صفر إلى ضعف السرعة المقننة.

ب. ما هي طرق التحكم في سرعة محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة؟ ناقش مميزات وعيوب كل طريقة ثم بين كيفية استخدام الموحدات المحكومة لتنفيذ هذه الطرق.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- الجهد الناتج من الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم يكون دائماً موجباً ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الأحادي الوجه المحكوم للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- يمكن استخدام الموحد الثلاثي الأوجه النصف الموجة للعمل في الربع الأول والثاني ☐
- الموحد المزدوج الأحادي الوجه يستخدم في الربع الأول والثالث فقط ☐
- الموحد المزدوج الثلاثي الأوجه يستخدم في جميع حالات التدوير المختلفة ☐

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة عن طريق الموحد الأحادي الوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال، وكان مصدر التيار المتردد جهده 208 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.1 Ω ومقاومة ملفات المجال 150 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.1 V/A-rad/s وعزم الحمل 75 Nm. عند سرعة 700 rpm. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك، واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات.

أ. احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج إذا كان تيار المجال أقصى ما يمكن.

ب. احسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها عن طريق جهد المنتج.

ت. إذا أريد زيادة السرعة إلى 1400 rpm اقترح الطريقة المناسبة ،واحسب القيم التي تغيرت لتحقيق ذلك.

السؤال الرابع:

يتم التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة ،عن طريق الموحد الأحادي الوجه المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال وكان مصدر التيار المتردد جهده 440 V وتردده 60 Hz وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 200 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.35 V/A-rad/s وكان تيار المنتج 50 A. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 60^o . وضبط تيار المجال ليكون أقصى ما يمكن ،اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن كلا من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك.

ب. إذا قل العزم بمقدار 20% احسب سرعة المحرك.

ت. إذا عكس اتجاه تيار المجال احسب زاوية الإشعال في دائرة المنتج للحفاظ على قيمة تيار المنتج كما في الحالة "ب" ،ثم احسب القدرة المستردة للمصدر.

السؤال الخامس:

محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه جهده 208V وتردده 60 Hz موصل نجمة وذلك من خلال الموحد الثلاثي الأوجه النصف المحكوم في دائرة المنتج وآخر في دائرة المجال فإذا ضبط تيار المجال عند 1 A وكانت مقاومة ملفات المنتج 0.2 Ω ومقاومة ملفات المجال 250 Ω وثابت الجهد للمحرك 1.2 V/A-rad/s وكان عزم الحمل 120 Nm. وزاوية الإشعال في دائرة المنتج 30^o ،اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن كلاً من تيار المنتج والمجال متصل وخال من التذبذبات:

أ. احسب العزم المتولد وسرعة المحرك.

ب. إذا زاد الحمل بنسبة 20% احسب سرعة المحرك.

ت. احسب قيمة زاوية الإشعال لتعود السرعة لسابق قيمتها كما في الحالة أ .

السؤال السادس: اختر الإجابة الصحيحة

أ. إذا تم استبدال موحد أحادي الوجه نصف محكوم في دائرة المجال لمحرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة بآخر ثلاثي الأوجه نصف محكوم يعمل عند نفس زاوية الاشعال السابقة فإن:

- ☐ سرعة المحرك تزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل
- ☐ سرعة المحرك لا تتأثر
- ☐ تيار المجال يقل

ب. موحد أحادي الوجه موجه كاملة محكوم يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد جهده 208 V وزاوية الاشعال ٣٠˚ يتم استخدامه للتحكم في جهد المنتج لمحرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة. إذا تم استبدال الموحد بموحد آخر أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم يعمل عند نفس زاوية الاشعال الأولى مع المحافظة على تيار المجال ثابت:

- ☐ تيار المنتج يكون أكبر منه في الحالة الأولى
- ☐ تيار المنتج يكون أقل منه في الحالة الأولى
- ☐ سرعة المحرك تكون أكبر منها في الحالة الأولى
- ☐ سرعة المحرك تكون أقل منها في الحالة الأولى

ت. موحد أحادي الوجه نصف موجه محكوم يتم تغذيته من مصدر للتيار المتردد جهده ٢٠٨ V وزاوية الاشعال ٣٠٠ يتم استخدامه للتحكم في جهد المنتج لمحرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة. إذا تم استبدال الموحد بموحد آخر أحادي الوجه موجه كاملة نصف محكوم يعمل عند نفس زاوية الاشعال الأولى مع المحافظة على نفس تيار المجال ثابت:

- تيار المنتج يكون ضعف تيار المنتج في الحالة الأولى
- تيار المنتج يكون نصف تيار المنتج في الحالة الأولى
- سرعة المحرك تكون أقل من سرعة المحرك في الحالة الأولى
- سرعة المحرك تكون أكبر من سرعة المحرك في الحالة الأولى

ث. يتم السيطرة على أداء محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة باستخدام موحدين محكومين، أحدهما في دائرة المنتج والآخر في دائرة المجال. إذا زادت زاوية الاشعال في دائرة المجال فإن:

- تيار المجال يقل
- تيار المنتج يقل
- سرعة المحرك تزيد
- سرعة المحرك تقل

ج. يتم السيطرة على أداء محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة باستخدام موحدين محكومين، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا زادت زاوية الاشعال في دائرة المجال فإن:

- جهد المنتج يقل
- تيار المنتج يقل
- العزم المتولد يزيد
- سرعة المحرك تزيد

ح. يتم السيطرة على أداء محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة باستخدام موحدين محكومين، أحدهما في دائرة المنتج ، والآخر في دائرة المجال. إذا زادت زاوية الاشعال في دائرة المنتج فإن:

- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المنتج يقل
- ☐ سرعة المحرك تزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل

خ. يتم السيطرة على أداء محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة باستخدام موحدين محكومين، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا زادت زاوية الاشعال في دائرة المنتج فإن:

- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المنتج يقل
- ☐ القدرة المسحوبة من المصدر تقل
- ☐ العزم المتولد يزيد

د. يتم السيطرة على أداء محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة باستخدام موحدين محكومين، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا قلت زاوية الاشعال في دائرة المجال فإن:

- ☐ تيار المجال يقل
- ☐ تيار المنتج يقل
- ☐ العزم المتولد يقل
- ☐ سرعة المحرك تقل

السؤال السابع:

ضع✓ أو × أمام العبارات التالية.:

.١	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجه يستخدم في التدوير الأمامي فقط.	
.٢	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجه يستخدم في التدوير الأمامي والفرملة الأمامية.	
.٣	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجه يستخدم التدوير الأمامي والفرملة العكسية.	
.٤	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف موجه يستخدم في التدوير العكسي والفرملة الأمامية.	
.٥	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه المحكوم يستخدم التدوير الأمامي فقط.	
.٦	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه المحكوم يستخدم التدوير الأمامي والفرملة الأمامية.	
.٧	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه المحكوم يستخدم التدوير الأمامي والفرملة العكسية.	
.٨	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه المحكوم يستخدم في التدوير العكسي والفرملة الامامية.	
.٩	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف محكوم يستخدم في التدوير الأمامي فقط.	
.١٠	عند السيطرة على أدا محركات التيار المستمر باستخدام الموحدات المحكومة فإن الموحد ثلاثي الأوجه النصف محكوم يستخدم في التدوير الأمامي والفرملة الأمامية.	

الوحدة الرابعة

التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

الهدف العام للوحدة: فهم كيفية تشغيل محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المست

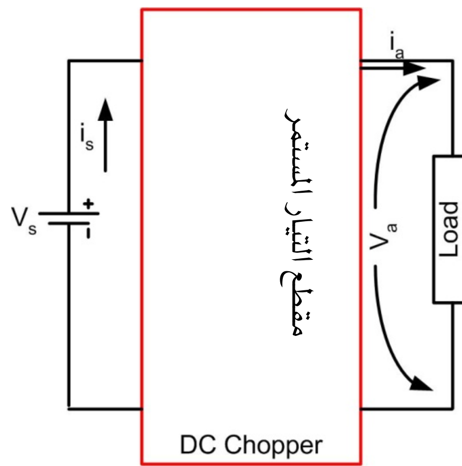
الأهداف التفصيلية:

١. أن يختار المتدرب دائرة مقطع التيار المستمر الملائمة للمحرك وظروف التشغيل.
٢. أن يعرف المتدرب كيفية استخدام مقطعات التيار المستمر للسيطرة على أداء المحرك والتحكم في سرعته.
٣. أن يعرف المتدرب كيفية استخدام مقطعات التيار المستمر لعمل الفرملة بأنواعها المختلفة.
٤. أن يستخدم المتدرب مقطع التيار المستمر في عكس حركة المحرك.

الوحدة الرابعة : التحكم في محركات التيار المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر

DC Chopper Drives

في الوحدة الثالثة تناولنا كيفية استخدام الموحدات المحكومة للسيطرة على أداء محركات التيار المستمر ،وتستخدم الموحدات المحكومة عندما يكون مصدر الجهد المتوفر من نوع التيار المتردد، أما إذا كان المصدر المتوفر مصدراً للتيار المستمر فإننا نلجأ إلى استخدام مقطعات التيار المستمر، والتي تستخدم للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذي جهد متغير القيمة (محكوم)، وتستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية والأوناش.... إلخ. حيث تلعب دوراً مهما في التحكم في سرعة محركات التيار المستمر أو عمل الفرملة بإعادة التوليد ،مما يؤدي إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية.



الشكل (4-1)

الدائرة التخطيطية لمقطع التيار المستمر

ويوصل مقطع التيار المستمر بين مصدر التيار المستمر والحمل كما في الشكل (4-1)، والمقطع في أبسط صوره عبارة عن مفتاح، عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل وإذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساوياً للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (2-13) ويكون الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_a = \frac{T_{on}}{T} V_s = k\, V_s \qquad (4\text{-}1)$$

حيث

V_s	جهد المصدر
T_{on}	زمن التوصيل
T_{off}	زمن الفصل
T	الزمن الكلي
V_a	جهد الخرج
k	نسبة التشغيل

وواضح من المعادلة (4-1) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق تغيير نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عالياً، لذلك يجب أن يكون المفتاح المستخدم كمقطع أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة، IGPT, MOSFET, GTO إلخ

ويساهم مقطع التيار المستمر في عمليات التحريك الكهربائي باستخدام محركات التيار المستمر بأربع طرق هي:

- التحكم في سرعة المحرك.
- الفرملة بإعادة التوليد.
- الفرملة الديناميكية (باستخدام المقاومة).
- الفرملة بإعادة التوليد واستخدام المقاومة معاً.

وسوف نتناول هذه الحالات الأربع بالتفصيل فيما يلي:

التحكم في سرعة المحرك:

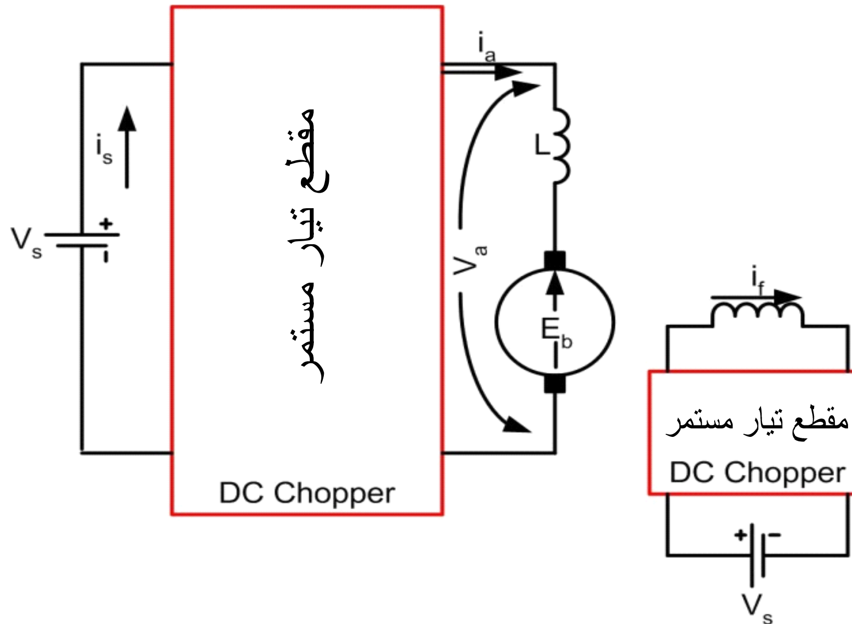
في هذه الحالة يتم استخدام المقطع للتحكم في القدرة المسحوبة من المصدر، وذلك بالتحكم في جهد المنتج أو تيار المجال أو كليهما معاً. الشكل (4-2) يبين الرسم التخطيطي كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للسيطرة على أداء محرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة، وفيه يستخدم مقطعان أحدهما للتحكم في جهد المنتج والآخر للتحكم في تيار المجال.

عند التحكم في محرك التيار المستمر من نوع التوالي فإننا نحتاج لمقطع واحد فقط، وذلك للتحكم في جهد المنتج كما في الشكل (3-4)، وتتكون دائرة المقطع في هذه الحالة من موسفت يتم توصيله بين المصدر والمنتج، بينما يوصل دايود حذافة على التوازي مع المنتج لضمان استمرارية التيار في دائرة المنتج، كما يوصل عادة ملف ذو قيمة عالية على التوالي في دائرة المنتج لنفس الغرض ولتقليل التذبذبات غير المرغوب فيها في تيار المنتج، ويصلح هذا المقطع للاستخدام في الربع الأول فقط حيث يكون الجهد والتيار موجبين. ويوضح الشكل (4-4) أشكال موجات الجهد والتيار عند استخدام المقطع ،ويمكن ملاحظة أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات. ويكون الجهد المتوسط على أطراف المنتج كما في المعادلة (4-1). بينما تكون القيمة المتوسطة للتيار المسحوب من المصدر:

$$I_s = k\,I_a \qquad (4\text{-}2)$$

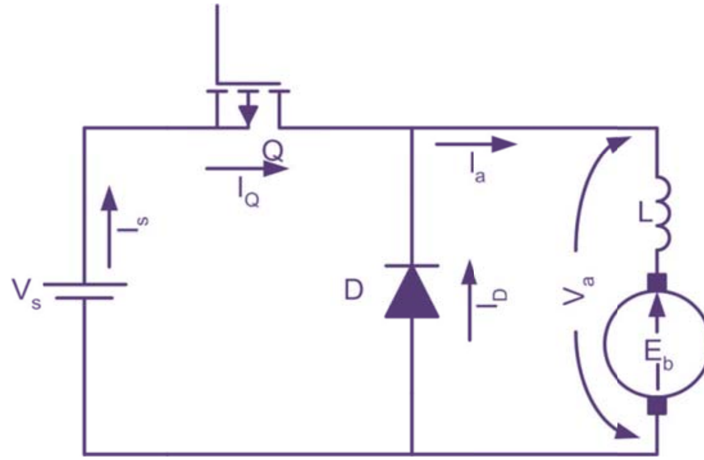
وتكون القدرة المسحوبة من المصدر (P_s) مساوية للقدرة المستهلكة في المحرك (P_a):

$$P_s = P_a = V_sI_s = V_aI_a = kV_sI_a \qquad (4\text{-}3)$$



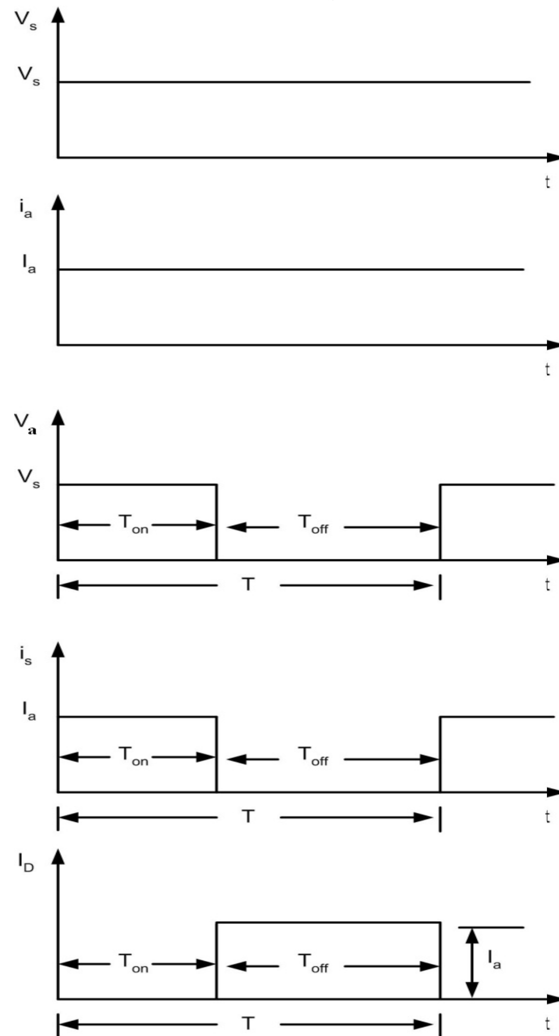
الشكل(2-4)

الرسم التخطيطي لكيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة



الشكل(3-4)

التحكم في محرك التوالي باستخدام مقطع التيار المستمر



الشكل(4-4)

أشكال موجات التيار والجهد عند استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي

مثال (1-4):

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده 600 V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.04 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.06 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.031V/A-rad/s وعزم الحمل 200 N.m. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن تيار المنتج متصل ،وخال من التذبذبات.

١. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد.

٢. احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر.

إذا أريد خفض سرعة المحرك إلى 1000 rpm. احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة.

الحل

$V_s = 600$ V $k = 0.6$ $R_f = 0.06\ \Omega$ $R_a = 0.04\ \Omega$

$T_L = 200$ N.m $K_v = 0.031$ V/A.rad./s.

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$T_d = T_L = 75$ N.m

أ)

الدائرة المستخدمة كما في الشكل (3-4) ،بينما أشكال الموجات كما في الشكل (4-4)

ب)

السرعة

$V_a = kV_s = 0.6(600) = 360$ V

$T_e = K_v I_a^2 =$ $I_f = I_a = \sqrt{\dfrac{T_e}{K_v}} = 80.322$ A

$E_b = V_a - I_a(R_a + R_f) = 360 - 80.322(0.1) = 351.968$ V

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = 141.245 \quad \text{rad/s.}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1348.79 \text{ rpm}$$

القدرة المسحوبة من المصدر

$$P_s = kV_sI_a = 0.6(600)(80.322) = 28.916 \text{ KW}$$

ت)

لخفض السرعة يجب تخفيض الجهد على أطراف المحرك، وذلك بتخفيض نسبة التشغيل

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 104.72 \text{ rad/s}$$

$$E_b = K_vI_f\omega = 260.75 \quad \text{V}$$

$$V_a = E_b + I_a(R_a + R_f) = 260 + 80.322(0.06+0.04) = 268.78 \text{ V}$$

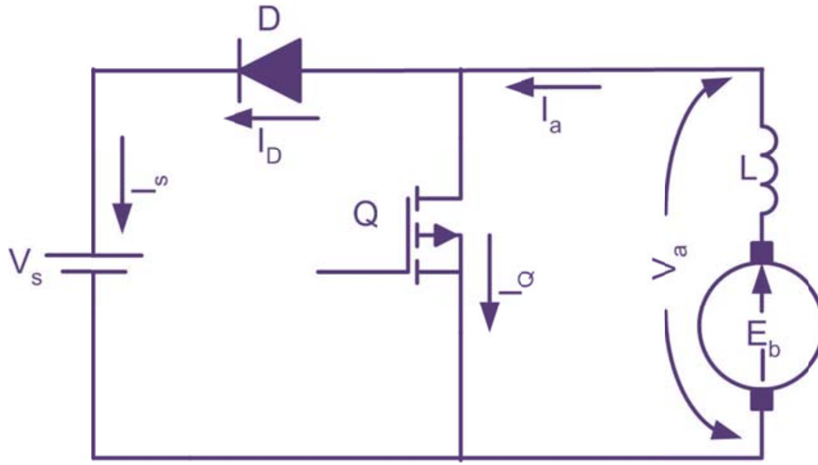
$$k = \frac{V_a}{V_s} = 0.448$$

$$P_s = kV_sI_a = 0.448(600)(80.322) = 215.9 \text{ KW}$$

الفرملة بإعادة التوليد Regenerative Braking

في هذه الحالة يتم الاستفادة بطاقة الحركة الناتجة عن دوران المحرك وإعادتها مرة أخرى إلى المصدر ،حيث يعمل المحرك في تلك الفترة كمولد، ويتم الاستعانة بمقطع التيار المستمر في ذلك كما سبق شرح فكرة نقل الطاقة من مصدر إلى آخر ذي جهد أعلى في الوحدة الثانية ،وتستغل هذه الفكرة لعمل الفرملة بإعادة التوليد.

الشكل (4-5) يوضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر في عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي، عند تشغيل المقطع"Q" فإن التيار في دائرة المنتج سيزداد بشكل كبير بسبب القصر على أطراف المحرك والذي نتج عن تشغيل المقطع، وفي تلك الفترة سيتم تخزين الطاقة في ملفات المنتج والمجال ،وعند إيقاف تشغيل المقطع، فإن الطاقة التي تم تخزينها في الملفات خلال فترة تشغيل المقطع ،سيتم تفريغها (نقلها إلى المصدر) من خلال الدايود "D" وعندما تقل الطاقة المخزنة يتم توصيل المقطع مرة أخرى ثم يفصل وهكذا. وبتكرار عملية التوصيل والفصل يتم استعادة طاقة الحركة بدلاً من تبديدها. ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني ،حيث إن الجهد موجب والتيار سالب.



الشكل (5-4)

الفرملة بإعادة التوليد باستخدام مقطع التيار المستمر

الشكل (6-4) يعرض أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد ،وذلك بفرض أن المحاثة عالية حتى يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات، وفي هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة لجهد المنتج مساوية للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة (4-4)

$$V_a=V_{ch}=(1-k)V_s \qquad (4\text{-}4)$$

بينما تكون القيمة المتوسطة لتيار المصدر:

$$I_s = (1- k)\, I_a \qquad (4\text{-}5)$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر:

$$P_s = P_g = V_sI_s = V_aI_a =(1 - k)V_sI_a \qquad (4\text{-}6)$$



V_s

V_s

t

i_a

I_a

t

$V_{ch}=V_a$

V_s

T_{on} T_{off}

T t

$I_s=I_D$

T_{on} T_{off} I_a

T t

I_Q

I_a

T_{on} T_{off}

T t

الشكل (4-6)

أشكال موجات التيار والجهد في حالة الفرملة بإعادة التوليد

ويكون الجهد المتولد على أطراف المحرك عندما يعمل كمولد :

$$E_b = E_g = V_a + I_aR_a = (1-k)V_s + I_a(R_a+R_f) \qquad (4\text{-}7)$$

وبالتحكم في نسبة التشغيل يتم التحكم في القدرة المعادة إلى المصدر وبالتالي في عملية الفرملة. ولكي تتم عملية الفرملة بإعادة التوليد يجب أن يتوفر الشرط التالي:

$$0 \le E_g - I_a(R_a + R_f) \le V_s$$

ومن خلال هذا الشرط يمكن الحصول على الحد الأدنى والحد الأقصى للسرعة كما يلي:

الحد الأدنى للسرعة (ω_{min})

$$E_g - I_a(R_a+R_f) = 0$$

$$K_vI_f\,\omega_{min} - I_a(R_a+R_f) = 0$$

$$\omega_{min} = \frac{I_a(R_a + R_f)}{K_vI_f} \qquad (4\text{-}8)$$

في حالة محرك التوالي يكون تيار المنتج هو نفسه تيار المجال ويكون الحد الأدني للسرعة كما يلي:

$$\omega_{min} = \frac{(R_a + R_f)}{K_v} \qquad (4\text{-}9)$$

الحد الأقصى للسرعة (ω_{max})

$$E_g - I_a(R_a+R_f) = V_s$$

$$K_vI_f\,\omega_{max} - I_a(R_a+R_f) = V_s$$

$$\omega_{max} = \frac{V_s + I_a(R_a + R_f)}{K_vI_f} \qquad (4\text{-}10)$$

وهذا يعني أنه لعمل فرملة بإعادة التوليد فإن سرعة المحرك يجب أن تكون أكبر من السرعة الصغرى (ω_{min}) وأقل من السرعة الكبرى (ω_{max})

مثال (2-4):

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر، وكان جهد المصدر 600 V ونسبة تشغيل المقطع تيار 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/s وكان تيار المنتج 250 A. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك، واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

١. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد.

٢. احسب القيمة المتوسطة لجهد المنتج والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك.

٣. القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد.

الحل

$V_s = 600$ V $\quad k= 0.6 \quad R_f = 0.05\ \Omega \quad R_a = 0.03\ \Omega$

$I_a=250$ A $\quad K_v = 0.016$ V/A.rad./s.

أ)

الدائرة المستخدمة كما في الشكل (4-5) بينما أشكال الموجات كما في الشكل (4-6)

ب)

القيمة المتوسطة لجهد المنتج

$$V_a=(1-k)V_s = 0.4(600) =240 \text{ V}$$

القدرة المعادة إلى المصدر

$$P_s = P_g = V_sI_s = V_aI_a =(1 - k)V_sI_a = 0.4\times600\times250=60 \text{ KW}$$

سرعة المحرك

$$E_g = V_a + I_a(R_a+R_f) = 240+250(0.08)=260 \text{ V}$$

$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = \frac{260}{.016\times250} =65 \text{ rad/s..}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = \frac{60\times65}{2\pi} =621 \text{ rpm}$$

ت)

السرعة الصغرى ω_{min}

$$\omega_{min}=\frac{(R_a+R_f)}{K_v}=5 \quad rad/s$$

$$n_{min}=\frac{60\omega}{2\pi}=47.746 \quad rpm$$

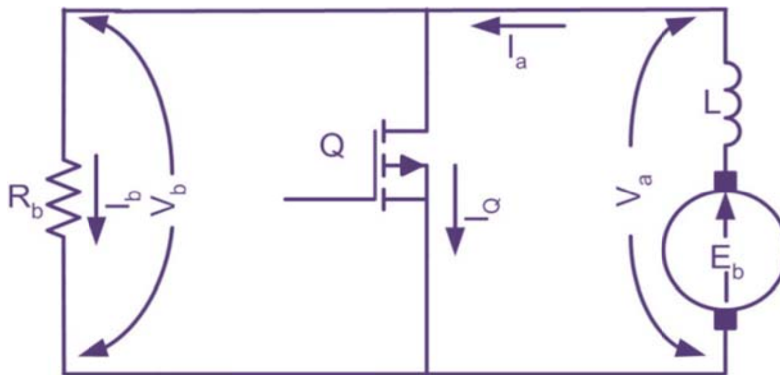
السرعة العظمى ω_{max}

$$\omega_{max}=\frac{V_s+I_a(R_a+R_f)}{K_v I_f}=192.5 \quad rad/s$$

$$n_{max}=\frac{60\omega}{2\pi}=1838.24 \quad rpm$$

الفرملة الديناميكية (الفرملة باستخدام المقاومة) Dynamic Braking

في هذه الحالة يتم استهلاك طاقة الحركة (بعد تحويلها إلى طاقة كهربية) في مقاومة توصل بدلاً من المصدر المستخدم في حالة إعادة التوليد، وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون الفرملة بإعادة التوليد غير ممكنة، ويتم الاستفادة من هذه الطاقة أحياناً في التدفئة. الشكل (4-7) دائرة الفرملة الديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي وفكرة عملها مشابهة تماماً لعمل الفرملة بإعادة التوليد، غير أن الطاقة في هذه الحالة تستهلك في المقاومة بدلاً من إعادتها إلى المصدر، ويعمل هذا المقطع في الربع الثاني ،حيث إن الجهد موجب والتيار سالب.



الشكل (4-7)

الفرملة الديناميكية باستخدام مقطع التيار المستمر

الشكل (4-8) يعرض أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة ،وذلك بفرض وجود محاثة عالية في الدائرة بحيث يكون التيار متصلاً وخالياً من التذبذبات ،وفي هذه الحالة

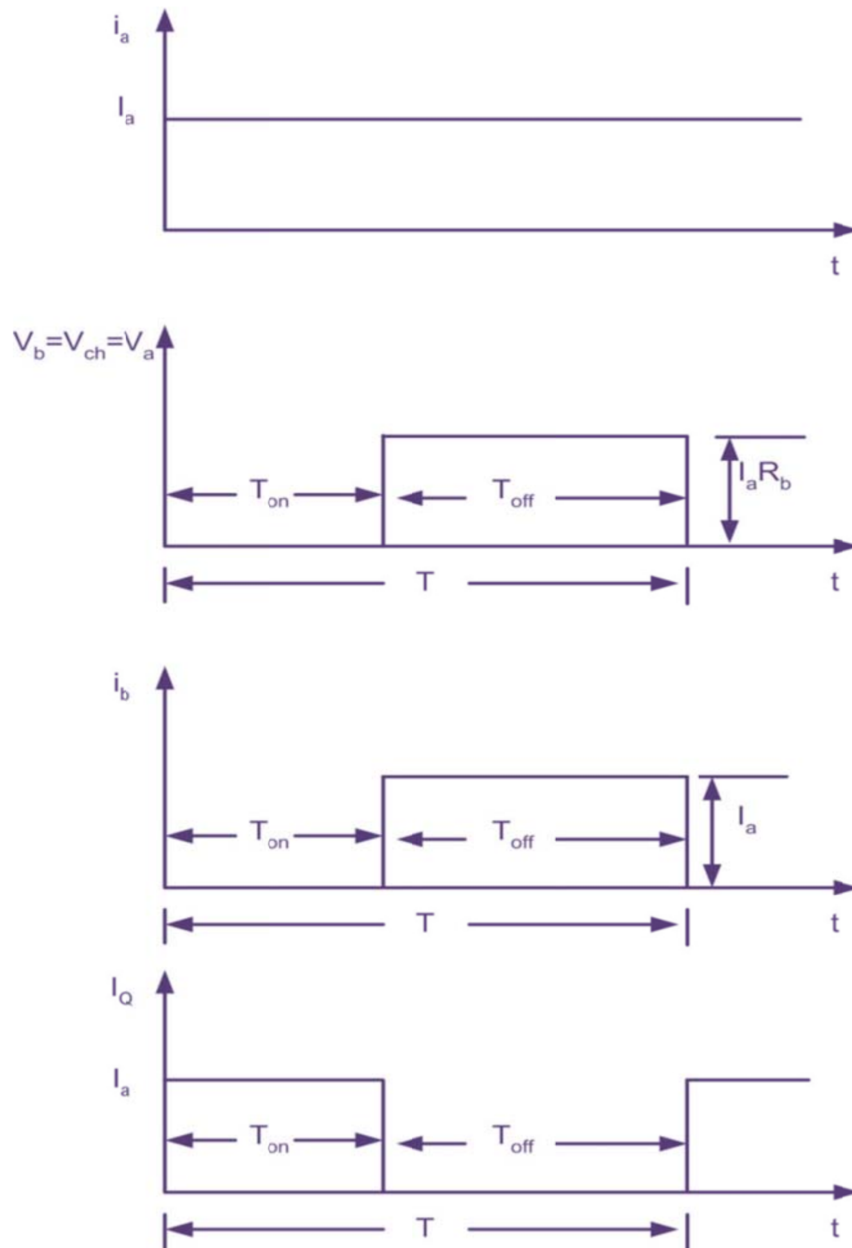
تكون القيمة المتوسطة لتيار المقطع (I_b) كما في المعادلة (4-11) بينما تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف المقاومة مساوية للقيمة المتوسطة للجهد على المقطع كما في المعادلة (4-12)

$$I_b = (1- k)\, I_a \qquad (4\text{-}11)$$

$$V_b=V_{ch}=R_bI_a(1-k) \qquad (4\text{-}12)$$

وتكون القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_b = V_bI_b = (1 - k)^2\, I_a^2\, R_b \qquad (4\text{-}13)$$



الشكل (8-4)

أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة

مثال (3-4):

يتم عمل فرملة ديناميكية لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكانت نسبة تشغيل المقطع تيار 0.5 ومقاومة ملفات المنتج 0.02 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.03 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/s وكان تيار المنتج 120 A.والمقاومة المستخدمة لعمل الفرملة قيمتها 6 Ω ، اعتبر أن تيار المنتج متصل وخالٍ من التذبذبات.

١. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد.

٢. احسب القيمة المتوسطة للجهد على المقطع والقدرة المستهلكة.

٣. القيمة العظمى للجهد على المقطع وسرعة المحرك.

الحل

$k = 0.5$ $\qquad R_f = 0.03\ \Omega$ $\qquad R_a = 0.02\ \Omega$

$I_a = 120$ A $\qquad K_v = 0.016$ V/A.rad./s. $\qquad R_b = 6\ \Omega$

أ)

الدائرة المستخدمة كما في الشكل (4-7) بينما أشكال الموجات كما في الشكل (4-8)

ب)

القيمة المتوسطة للجهد على المقطع

$$V_b = V_{ch} = R_b I_a (1-k) = 6(120)(1-0.5) = 360 \quad \text{V}$$

القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_b = V_b I_b = (1-k)^2 I_a^2 R_b = 21.6 \quad \text{KW}$$

ت)

أقصى قيمة للجهد على المقطع عندما تكون نسبة التشغيل (K) تساوي صفر

$$V_{b\,max} = V_{ch\,max} = R_b I_a = 6(120) = 720 \quad \text{V}$$

سرعة المحرك

$$E_g = V_a + I_a(R_a + R_f) = 366 \quad \text{V}$$

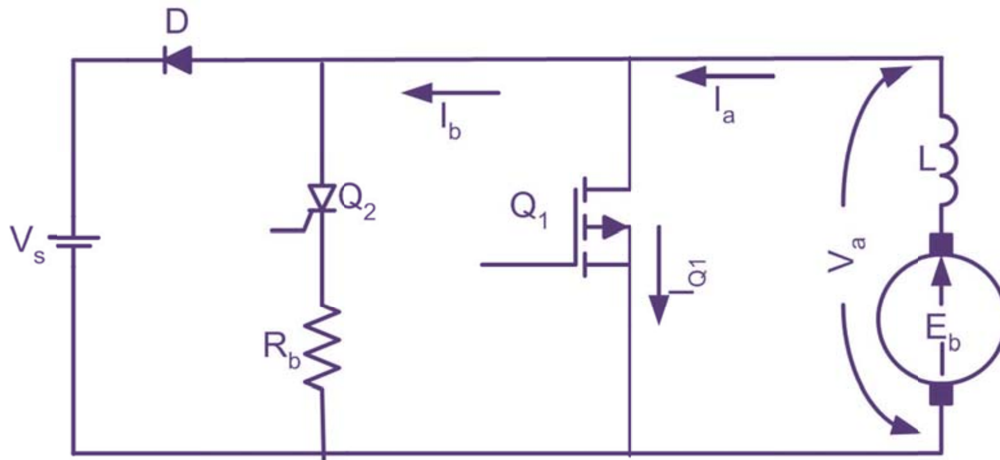
$$\omega = \frac{E_g}{K_v I_f} = 190.625 \quad \text{rad/s.}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = 1820.33 \quad \text{rpm}$$

الفرملة بإعادة التوليد واستخدام المقاومة معاً

Combined Dynamic and Regenerative Braking

في كثير من الأحيان يتم عمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية باستخدام دائرة واحدة كما في الشكل (4-9) حيث يتم تشغيل المقطع "Q_1" فإذا كانت سرعة المحرك داخل حدود التشغيل المسموح بإعادة التوليد فيها والمصدر من الممكن أن يستقبل الطاقة ،فتتم الفرملة بإعادة التوليد ،ويمر تيار الفرملة إلى المصدر من خلال الدايود "D" ، وتستخدم دائرة منطقية لتحديد نوع الفرملة المناسبة ،فإذا كانت سرعة المحرك خارج حدود التشغيل ،سواء أكانت أكبر من السرعة القصوى أو أصغر من السرعة الصغرى المسموح بإعادة التوليد بينهما ،فيتم تشغيل الثايرستور "Q_2" ويتحول تيار الفرملة ليمر في المقاومة "R_b" بدلاً من الرجوع إلى المصدر ،أي تتم الفرملة الديناميكية ،ويمكن ملاحظة أن الثايرستور "Q_2" يتم ايقافه طبيعياً عندما يتم تشغيل "Q_1" في كل دورة.



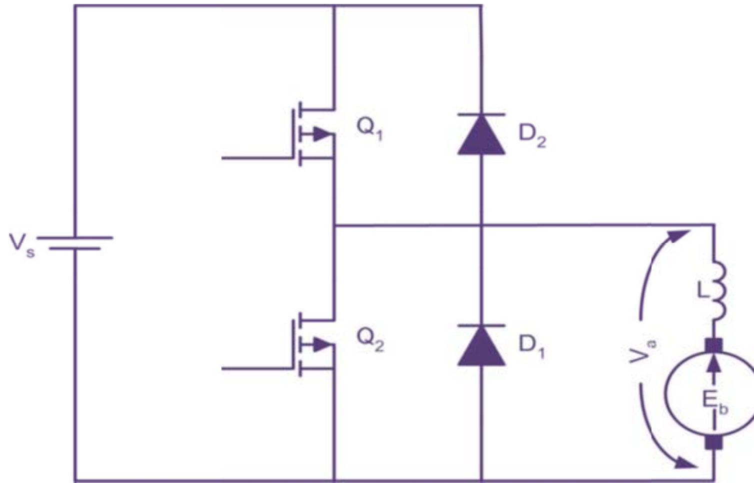
الشكل (4-9)

استخدام مقطع التيار المستمر لعمل الفرملة بإعادة التوليد والفرملة الديناميكية معاً

يمكن ملاحظة أن الدائرة التي تستخدم للتحكم في سرعة المحرك يكون فيها الجهد والتيار موجبان، أي أنها تصلح للعمل في الربع الأول فقط (حالة التدوير الأمامي)، بينما في حالة الفرملة يكون الجهد موجباً والتيار سالباً ، أي أنها تصلح للعمل في الربع الثاني (حالة الفرملة الأمامية)، ويمكن الجمع بينهما في دائرة واحدة تصلح للعمل في حالتي التدوير الأمامي والفرملة الأمامية كما في الشكل (4-10).

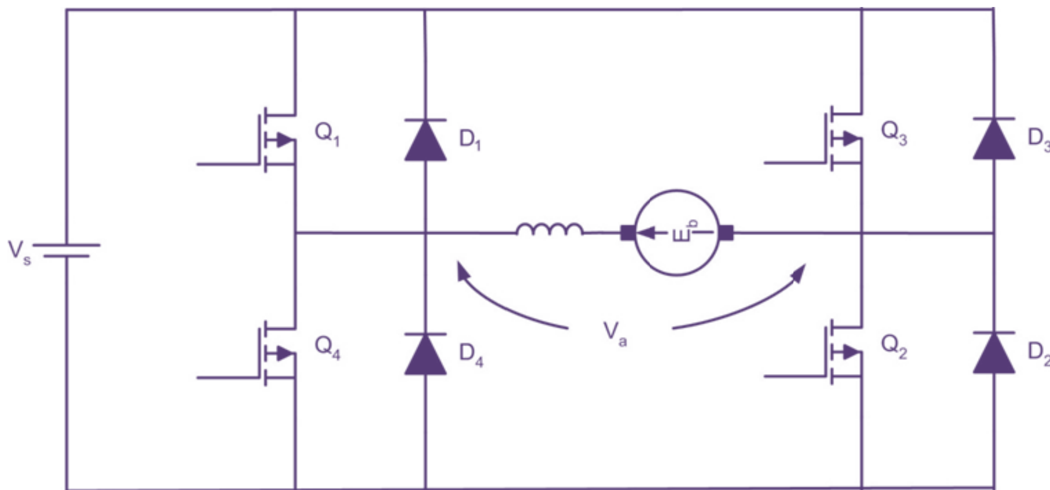
في حالة التدوير الأمامي (أي العمل في الربع الأول) تتم باستخدام Q_1, D_1، فعند تشغيل Q_1 أي عندما يكون في حالة ON فإن جهد المصدر يتصل بأطراف المحرك وعندما يتحول Q_1 إلى

حالة OFF فإن الدايود D_1 يعمل كدايود حذافة. أما حالة الفرملة بإعادة التوليد فتتم باستخدام $Q2, D_2$، فعند تشغيل Q_2 أي عندما يكون في حالة ON ،فإن المحرك يعمل كمولد ،ويزداد تيار المنتج ،ويتم تخزين الطاقة في الملفات وعندما يتحول Q_2 إلى حالة الإيقاف(OFF) تتم إعادة الطاقة المخزنة إلى المصدر من خلال مرور التيار في D_2



الشكل (4-10)

استخدام مقطع التيار المستمر للعمل في الربع الأول والثاني



الشكل (4-11)

استخدام مقطع التيار المستمر للعمل في أربع حالات تشغيل

في التطبيقات الصناعية تكثر الحاجة إلى عكس حركة المحركات الكهربائية المستخدمة وهذا يستلزم أن يكون المقطع المستخدم صالحاً للعمل في أربع حالات تدوير، في الربع الأول حيث الجهد والتيار موجبان (التدوير الأمامي)، وفي الربع الثاني، حيث الجهد

الموجب والتيار السالب (الفرملة الأمامية)، بينما في الربع الثالث ،حيث الجهد والتيار سالبان (التدوير العكسي)، أما في الربع الرابع والأخير يكون الجهد سالباً والتيار موجب (الفرملة العكسية). والشكل (4-11) يبين دائرة لمقطع من هذا النوع تستخدم للسيطرة على محرك للتيار المستمر

أولاً التدوير الأمامي:

يتم استخدام Q_2, Q_1 بينما Q_3, Q_4 في حالة الإيقاف (OFF)، عندما يكون Q_1, Q_2 في حالة التشغيل (ON) فإن جهد المصدر يكون موصلا على أطراف المحرك ويزداد تيار المنتج وعندما يتحول Q_1 إلى الحالة إيقاف (OFF)، بينما يستمر Q_2 في حالة ON فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_2 وD_4 (دايود حذافة).

ثانيا: الفرملة الأمامية

في حالة ما يكون Q_1, Q_2, Q_3 في حالة الإيقاف (OFF) بينما Q_4 في حالة التشغيل (ON)، فإن التيار يمر من خلال Q_4, D_2 ويتم تخزين الطاقة في الملفات فإذا تحول Q_4 إلى حالة الإيقاف (OFF)، فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_1, D_2 وتتم الفرملة الأمامية بإعادة التوليد.

ثالثا التدوير العكسي

يتم استخدام Q_4, Q_3 بينما Q_1, Q_2 في حالة الإيقاف (OFF)، عندما يكون Q_3, Q_4 في حالة التشغيل (ON) فإن جهد المصدر يكون موصلاً على أطراف المحرك ،عكس الجهد في حالة التدوير الأمامي، ويزداد تيار المنتج، وعندما يتحول Q_3 إلى الحالة OFF بينما يستمر Q_4 في حالة ON ،فإن التيار يدور في المحرك من خلال Q_4 وD_2 (دايود حذافة)

رابعا: الفرملة العكسية

في حالة ما يكون Q_1, Q_3, Q_4 في حالة الإيقاف (OFF) بينما Q_2 في حالة التشغيل (ON) فإن التيار يمر من خلال Q_2 وD_4 ويتم تخزين الطاقة في الملفات فإذا تحول Q_2 إلى حالة الإيقاف (OFF) فإن الطاقة تعاد إلى المصدر من خلال D_4, D_3 وتتم الفرملة العكسية بإعادة التوليد.

ويمكن ملاحظة أنه في حالة التدوير العكسي والفرملة العكسية فإن اتجاه المجال يجب أن يعكس، لذا في حالة التغذية المنفصلة يجب مراعاة عكس اتجاه المجال في هاتين الحالتين.

أسئلة الوحدة الرابعة

السؤال الأول:

أ. اذكر بعض التطبيقات الصناعية التي يستخدم فيها مقطع التيار المستمر.

ب. ارسم الدائرة التخطيطية التي توضح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر ذي التغذية المنفصلة.

ت. اشرح كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التوالي، وارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار.

ث. اذكر طرق عمل الفرملة لمحرك التيار المستمر باستخدام مقطع التيار المستمر ،واشرح اثنين منها بالتفصيل.

ج. اشرح مستعيناً بالرسم كيفية استخدام مقطع التيار المستمر للتحكم في محرك التيار المستمر وعمل الفرملة بإعادة التوليد.

السؤال الثاني:

محرك تيار مستمر من نوع التوالي يتم تغذيته من مصدر تيار مستمر جهده 600 V من خلال مقطع تيار مستمر نسبة تشغيله 0.6 ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.031V/A-rad/s وكان تيار المنتج 70 A. اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك، واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد.

ب. احسب سرعة المحرك والقدرة المسحوبة من المصدر.

ت. احسب العزم المتولد.

ث. إذا أريد زيادة سرعة المحرك بنسبة 20% احسب نسبة التشغيل الجديدة والقدرة المسحوبة من المصدر في هذه الحالة.

السؤال الثالث:

يتم التحكم في محرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" فإذا كان مصدر التيار المستمر ذا جهد 660 V ومقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.035V/A-rad/s . وكان المطلوب المحافظة على قيمة العزم المتولد ليكون 547 Nm ،اعتبر تيار المنتج متصلاً وخالياً من التذبذبات:

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد .

ب. احسب قيمة تيار المنتج.

ت. ارسم العلاقة بين كل من نسبة تشغيل مقطع التيار وسرعة المحرك.

السؤال الرابع:

يتم عمل فرملة بإعادة التوليد لمحرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع للتيار المستمر وكان جهد المصدر 660 V، ومقاومة ملفات المنتج 0.02 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.03 Ω وثابت الجهد للمحرك 0.016V/A-rad/s وكانت القيمة المتوسطة لجهد المنتج 250 V تيار المنتج 250 A.، اهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك ،واعتبر أن تيار المنتج متصل وخال من التذبذبات.

أ. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد.

ب. احسب نسبة تشغيل مقطع تيار والقدرة المعادة إلى المصدر وسرعة المحرك.

ت. القيمة العظمى والصغرى لسرعة المحرك لعمل الفرملة بإعادة التوليد.

السؤال الخامس:

يتم عمل فرملة ديناميكية على محرك تيار مستمر من نوع التوالي باستخدام مقطع تيار مستمر "DC chopper" ومقاومة قيمتها 5 Ω. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.03 Ω ومقاومة ملفات المجال 0.05 Ω وكان ثابت الجهد للمحرك 14mV/A.rad/s. وكانت القيمة المتوسطة لتيار المحرك 350A ونسبة تشغيل مقطع التيار 60% اعتبر تيار المنتج متصلاً وخالياً من التذبذبات . ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات التيار والجهد ثم احسب:

أ. الجهد المتوسط على المقطع.

ب. القدرة المستهلكة في المقاومة.

ت. سرعة المحرك.

السؤال السادس: اختر الإجابة الصحيحة

أ. تستخدم مقطعات التيار المستمر في

- التحكم في سرعة المحركات الحثية
- التحكم في سرعة المحركات التزامنية
- التحكم في سرعة محركات التيار المستمر
- التحكم في سرعة التربينات

ب. زيادة نسبة التشغيل لمقطع التيار المستمر المغذي لدائرة المنتج لمحرك التيار المستمر من نوع التغذية المنفصلة تؤدي إلى

- زيادة تيار المنتج
- زيادة كفاءة المحرك
- زيادة العزم المتولد
- زيادة سرعة المحرك

ت. إذا كان المصدر المتوفر من نوع التيار المتردد فمن الممكن أن تتم السيطرة على أداء محرك التيار المستمر من نوع التوالي باستخدام

- مقطعات التيار المستمر
- الموحدات المحكومة
- حاكمات الجهد المتناوب
- العواكس

ث. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر، أحدهما في دائرة المنتج، والآخر في دائرة المجال. إذا زادت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المجال فإن:

- جهد المنتج يزيد
- تيار المنتج يزيد
- سرعة المحرك تقل
- سرعة المحرك تزيد

ج. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر ،أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا قلت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المجال فإن:

- ☐ جهد المنتج يزيد
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل
- ☐ سرعة المحرك تزيد

ح. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا قلت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المجال فإن:

- ☐ تيار المجال يزيد
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل
- ☐ تيار المجال يقل

خ. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا زادت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المنتج فإن

- ☐ جهد المنتج يزيد
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المجال يزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل

د. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر ،أحدهما في دائرة المنتج، والآخر في دائرة المجال. إذا زادت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المنتج فإن:

- ☐ سرعة المحرك تزيد
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المجال يزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل

ذ. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر، أحدهما في دائرة المنتج ،والآخر في دائرة المجال. إذا قلت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المنتج فإن:

- ☐ جهد المنتج يزيد
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المجال يزيد
- ☐ سرعة المحرك تقل

ر. محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم التحكم فيه باستخدام مقطعي تيار مستمر، أحدهما في دائرة المنتج، والآخر في دائرة المجال. إذا قلت نسبة تشغيل المقطع في دائرة المنتج فإن:

- ☐ جهد المنتج يقل
- ☐ تيار المنتج يزيد
- ☐ تيار المجال يزيد
- ☐ سرعة المحرك تزيد

الوحدة الخامسة

التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

الهدف العام للوحدة: اختيار الطريقة المناسبة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وتحديد الدائرة المناسبة لذلك.

الأهداف التفصيلية:

١. أن يعرف المتدرب كيفية تنفيذ الطرق المختلفة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام دوائر حاكمات الجهد المتناوب.

٢. أن يعرف المتدرب كيفية تنفيذ الطرق المختلفة للتحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه باستخدام العواكس.

٣. أن يعرف المتدرب كيفية التحكم في المحركات ذات العضو الملفوف باستعادة طاقة الانزلاق.

الوحدة الخامسة : التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

بالرغم من بساطة طرق التحكم في سرعة محركات التيار المستمر - التي سبق تناولها في الوحدتين الثالثة والرابعة- إلا أن محركات التيار المستمر لها بعض العيوب مثل كبر الحجم، وثقل الوزن، وحاجتها الدائمة إلى الصيانة الدورية، بالإضافة إلى ارتفاع ثمنها، مما دفع الباحثين إلى البحث في كيفية استخدام محركات التيار المتردد كمحركات متغيرة السرعة في التطبيقات الصناعية المختلفة، وذلك لما تتمتع به من مميزات عديدة مثل خفة الوزن ،وصغر الحجم، ورخص الثمن، بالإضافة إلى عدم حاجتها للصيانة الدورية تقريباً، ولكن على الجانب الآخر فإن التحكم فيها أصعب من التحكم في آلات التيار المستمر ،حيث تحتاج إلى التحكم في أكثر من عامل (الجهد والتردد)، ولكن التقدم في صناعة عناصر إلكترونيات القدرة ودوائر التحكم الرقمية ساهم في الفترة الأخيرة بجهد كبير في تسهيل عملية التحكم في تلك المحركات ،حتى أصبحت بديلاً منافساً لمحركات التيار المستمر في التطبيقات الصناعية ،التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة ،خاصة في الأماكن القابلة للانفجار ،مثل المناجم والصناعات الكيميائية والتركيبات تحت المياه، كما تصلح أيضاً للمضخات والمراوح ونافخات الهواء والكمبرسورات والسيور، بالإضافة إلى القطارات الكهربائية. وتنقسم آلات التيار المتردد إلى نوعين رئيسين هما المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، والمحركات المتزامنة، وسوف نتناول في هذه الوحدة طرق التحكم في المحركات الحثية، بينما سنتناول في الوحدة السادسة كيفية التحكم في المحركات التزامنية.

يتم التحكم في سرعة المحركات الحثية بالتحكم في العزم المتولد الذي يعتمد على التفاعل (التداخل) بين مجالين مغناطيسيين يدوران بسرعة التزامن، أحدهما ناتج من تغذية ملفات العضو الثابت من مصدر للتيار المتردد ثلاثي الأوجه، بينما ينتج المجال الثاني من التيار المار في العضو الدائر بالحث، وتعتمد قيمة العزم المتولد كما في المعادلة (5-1) على قيمة الجهد المسلط على أطراف العضو الثابت، وعلى قيمة تردد المصدر .ويمكن مراجعة كيفية عمل المحركات الحثية ثلاثية الأوجه بالرجوع إلى الوحدة التدريبية الأولى

$$T_d = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{3I_2^{'2} \cdot \frac{R_2^{'}}{s}}{\omega_s} = \frac{3V_1^2 \cdot R_2^{'}}{s\omega_s \left(R_1 + \frac{R_2^{'}}{s} \right)^2 \left(X_1 + X_2^{'} \right)^2} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث:

I_2' تيار العضو الدائر منسوباً للعضو الثابت (A)

R_1 مقاومة ملفات العضو الثابت (Ω)

R_2' مقاومة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

X_1 معاوقة ملفات العضو الثابت (Ω)

X_2' معاوقة ملفات العضو الدائر منسوبة للعضو الثابت (Ω)

ω سرعة المحرك (rad./s)

ω_s سرعة التزامن (rad./s)

s الانزلاق

V_1 الجهد المسلط على العضو الثابت

يمكن تقسيم أنواع التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه بشكل عام إلى نوعين رئيسين:

- **تحكم عن طريق دائرة العضو الثابت:** ويتم ذلك بطرق مختلفة، وتتميز جميعها بأنها تصلح للمحركات الحثية، سواء أكانت محركات ذات قفص سنجابي، أم محركات ذات عضو دائر ملفوف.
- **تحكم طريق دائرة العضو الدائر:** وتصلح للمحركات ذات العضو الدائر الملفوف فقط.

وسوف نتناول طرق التحكم المستخدمة في كل نوع من هذه الأنواع فيما يلي.

أولا التحكم في دائرة العضو الثابت

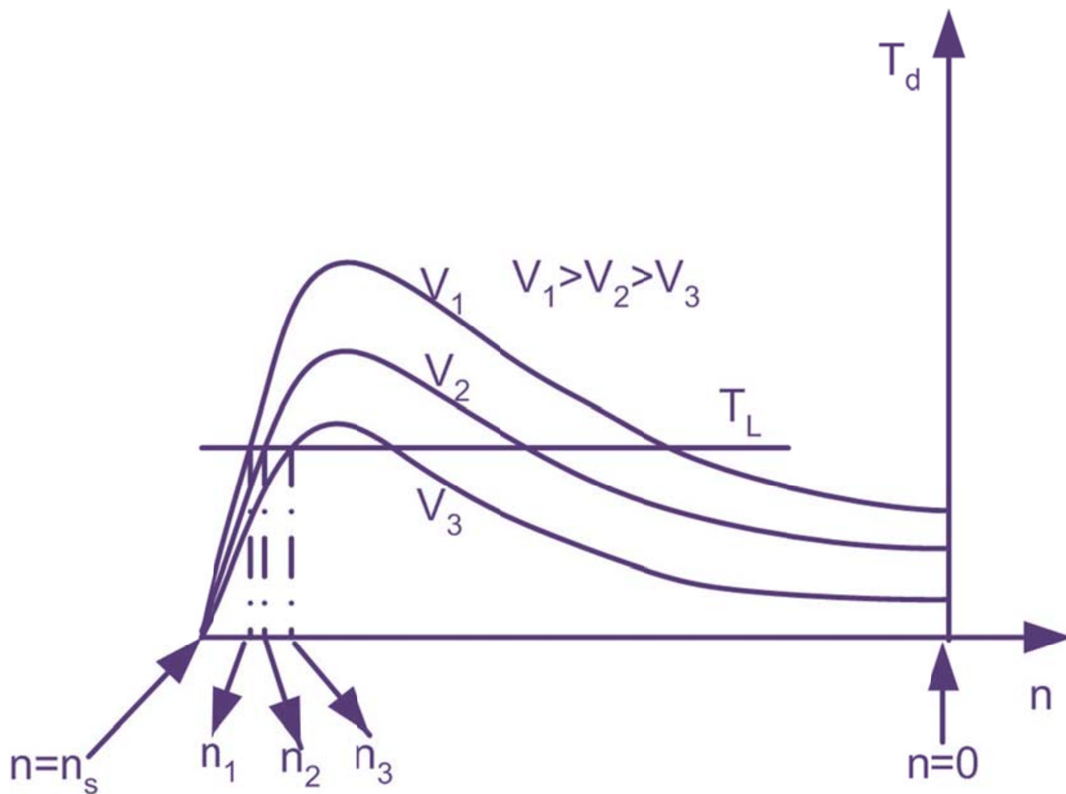
بالرجوع إلى المعادلة (1-5) نستنتج أن العزم المتولد والسرعة يمكن التحكم فيهما بعدة طرق تنفذ جميعها من خلال دائرة العضو الثابت مثل:

- التحكم في جهد المصدر.
- التحكم في تردد المصدر.
- التحكم في الجهد والتردد معاً.

التحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت (Stator Voltage Control)

بالرجوع إلى المعادلة (5-1) نجد أن العزم المتولد يتناسب مع مربع الجهد، وبالتالي فعند تقليل الجهد المسلط على العضو الثابت فإن العزم المتولد سوف يقل ،وبالتالي تقل السرعة ويوضح الشكل (5-1) العلاقة بين العزم والسرعة عند القيم المختلفة لجهد العضو الثابت.

فنجد أن سرعة المحرك (n_1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_1) تكون أكبر من السرعة (n_2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_2)، والسرعة (n_2) تكون أكبر من السرعة (n_3) والتي تنتج عند تغذية المحرك بالجهد (V_3) وهكذا، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وسهولة التنفيذ ،ولكنها تصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة فقط، كما أن مدى التحكم في السرعة يكون صغيراً ،وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في المراوح والمضخات والأوناش.



الشكل (5-1)

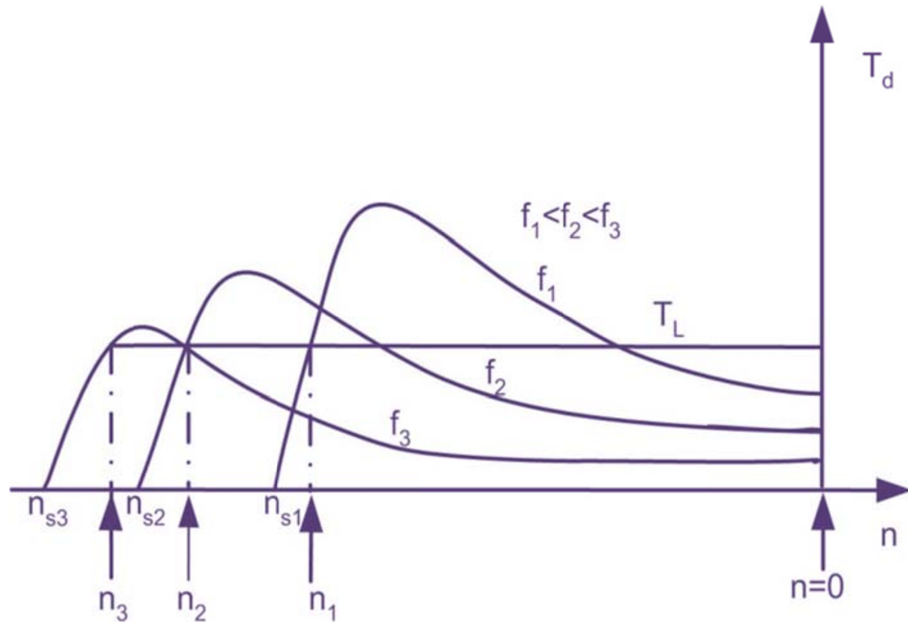
العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند قيم مختلفة لجهد العضو الثابت

التحكم في التردد (Frequency Control)

يمكن التحكم في العزم المتولد للمحرك الحثي وسرعته بالتحكم في تردد المصدر، وذلك لأن تغيير التردد يؤدي إلى تغيير المجال المغناطيسي الناتج طبقاً للمعادلة (5-2) والتي تربط بين المجال المغناطيسي (Φ)الناتج من مرور التيار في ملف والجهد المسلط عليه (*V*) وتردد المصدر (*f*)

$$\Phi \propto \frac{V}{f} \qquad (5\text{-}2)$$

ومن المعادلة (5-2) يمكن ملاحظة أن المجال المغناطيسي يتناسب عكسياً مع التردد، أي أنه بزيادة التردد يقل المجال المغناطيسي المتولد، وبالتالي يقل العزم وتزيد سرعة المحرك، كما يمكن ملاحظة أنه بتقليل التردد يزداد المجال المغناطيسي، ويزيد العزم المتولد ،وتقل السرعة



الشكل (5-2)

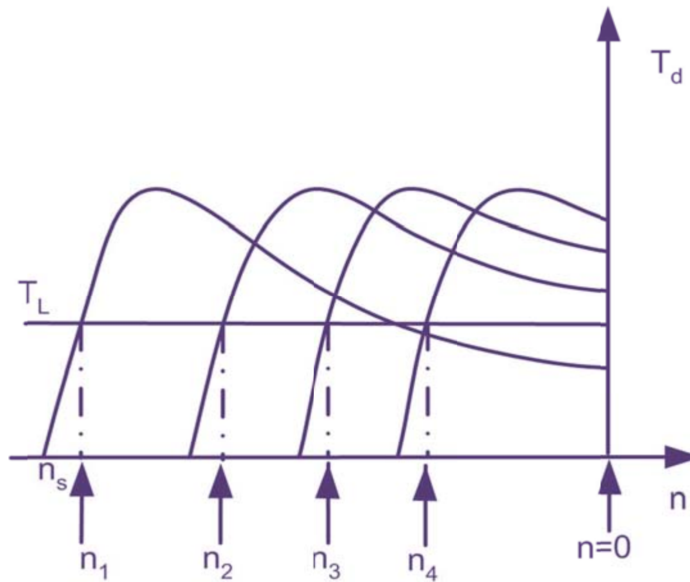
العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند القيم المختلفة للتردد

شكل (5-2) والذي يوضح العلاقة بين العزم المتولد وسرعة المحرك عند ترددات مختلفة. فنجد أن سرعة المحرك (n_1) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_1) تكون أقل من السرعة (n_2) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_2)، والسرعة (n_2) تكون أقل من السرعة (n_3) والتي تنتج عند تغذية المحرك بتردد (f_3) وهكذا. وتصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات عالية (أكبر من السرعة المقننة) مع مراعاة أن لا يقل العزم المتولد عن عزم الحمل المطلوب،

ولا تصلح هذه الطريقة للحصول على سرعات صغيرة (أقل من السرعة المقننة) لأن ذلك يحتاج إلى تردد صغير قد يؤدي إلى تشبع المجال المغناطيسي المتولد. وتسمى هذه الطريقة طريقة إضعاف المجال (Field-weakening mode) وذلك لضعف المجال المغناطيسي نتيجة لزيادة التردد.

التحكم في الجهد والتردد معاً (Voltage and Frequency Control)

في هذه الطريقة يتم السيطرة على أداء المحرك بالتحكم في كل من الجهد والتردد معاً ،بحيث تكون النسبة بينهما ثابتة ،وذلك بهدف الحفاظ على المجال المغناطيسي عند قيمة ثابتة، ولذلك تكون قيمة أقصى عزم ثابتة أيضاً ،بينما يمكن الحصول على سرعات مختلفة كما في الشكل (3-5)



الشكل (3-5)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك الحثي عند التحكم في الجهد والتردد معاً

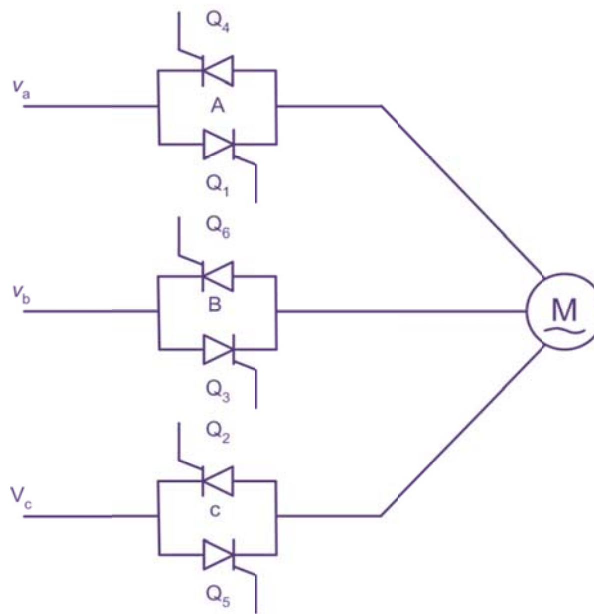
وتتميز هذه الطريقة بمدى كبير للتحكم في السرعة (من صفر إلى السرعة المقننة)، وإذا أريد زيادة السرعة عن ذلك فإننا نلجأ للتحكم في التردد فقط، كما تتميز هذه الطريقة بإمكانية استخدامها لبدء المحرك بعزم بدء عال، مما يقلل من زمن التعجيل اللازم للوصول لنقطة التشغيل. ونتيجة لثبات المجال المغناطيسي في هذه الطريقة، فتسمى بطريقة التحكم بثبات المجال (Constant Flux Operation).

وتتم عملية التحكم في جهد العضو الثابت بطرق مختلفة مثل حاكمات الجهد المتردد أو العواكس وسوف نتناولها في الأجزاء التالية.

التحكم في المحركات الحثية باستخدام حاكمات الجهد المتناوب

Control of Induction Motor by AC Voltage Controller

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب للتحكم في جهد العضو الثابت، وذلك بهدف السيطرة على أداء المحركات الحثية ثلاثية الأوجه، وفي هذه الحالة يكون الجهد المغذي للمحرك متغير القيمة (محكوماً) ،بينما يكون التردد هو نفسه تردد المصدر ثلاثي الأوجه، وتتم عملية التحكم في القيمة الفعالة للجهد عن طريق التحكم في زاوية الإشعال للثايرستورات المكونة لحاكم الجهد المتردد ،وتستخدم حاكمات الجهد المتردد للتحكم في تطبيقات متعددة مثل المراوح والمضخات والأوناش. ومن عيوب حاكمات الجهد المتناوب توليد توافقيات غير مرغوب فيها كما أن معامل القدرة لها منخفض.



الشكل (5-4)

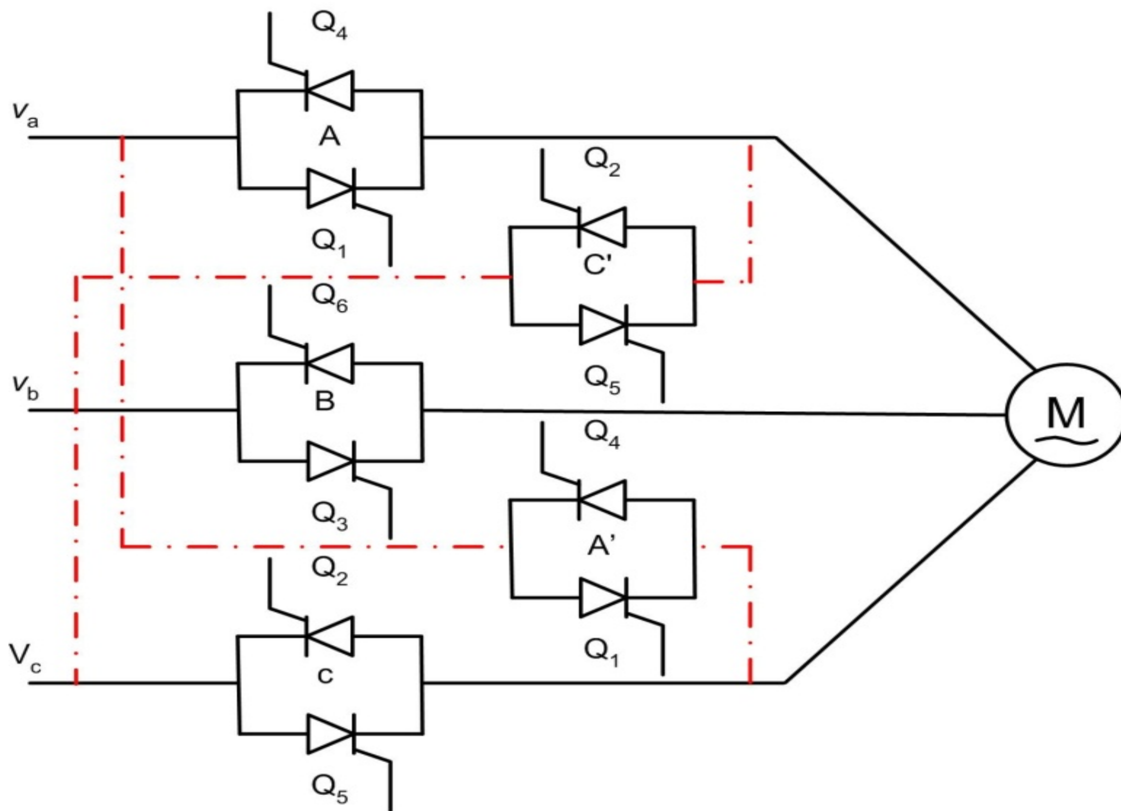
التحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه باستخدام حاكم الجهد المتناوب ثلاثي الأوجه

ويوضح الشكل (5-4) حاكم جهد متناوب ثلاثي الأوجه مكوناً من ستة ثايرستورات ،يستخدم اثنان منها لكل وجه ،ويستخدم هذا الحاكم للتحكم في محرك حثي ثلاثي

الأوجه. وفي حالة المحركات الصغيرة يمكن أن يستبدل كل زوج من الثايرستورات المستخدمة بترياك يستخدم في الوجه الواحد.

والحاكم الموضح في الشكل (5-4) يستخدم للتدوير الأمامي للمحرك (Forward Motoring) والفرملة العكسية (Reverse Plugging) أي في الربع الأول، والربع الرابع

ويمكن استخدام حاكم الجهد المتناوب للسيطرة على المحرك في أربع حالات تدوير ،أي في الربع الأول ،والربع الثاني، والربع الثالث، والربع الرابع، ويوضح الشكل (5-5) حاكم الجهد المتناوب الذي يمكن استخدامه لهذه الحالات المختلفة. عند تشغيل أزواج الثايرستور (A, B, C) فإن المحرك يمكن أن يعمل في الربع الأول والربع الرابع، بينما إذا تم تشغيل أزواج الثايرستور (A', B, C') فإن المحرك يمكن أن يعمل في الربع الثاني (الفرملة الأمامية) والربع الثالث (التدوير العكسي).



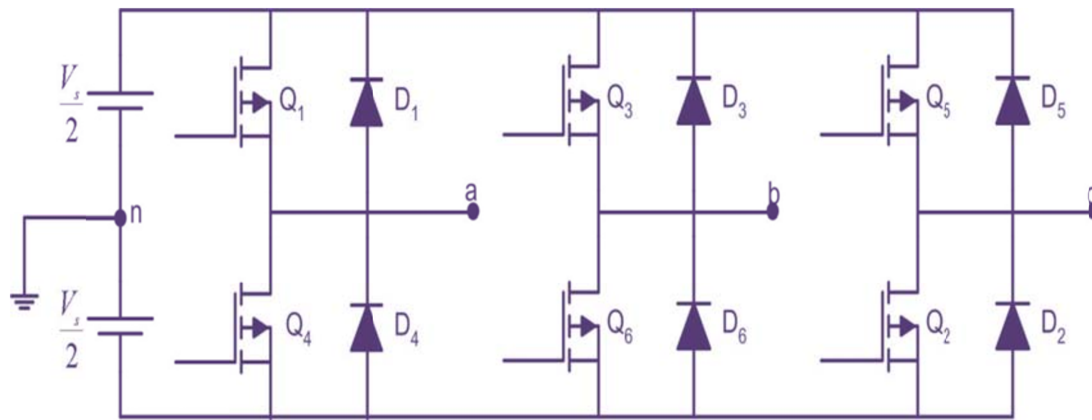
الشكل (5-5)

التحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه باستخدام حاكم جهد متناوب ثلاثي الأوجه يعمل في أربع حالات تشغيل مختلفة

التحكم في المحركات الحثية باستخدام العواكس

Control of Induction Motor by Inverters

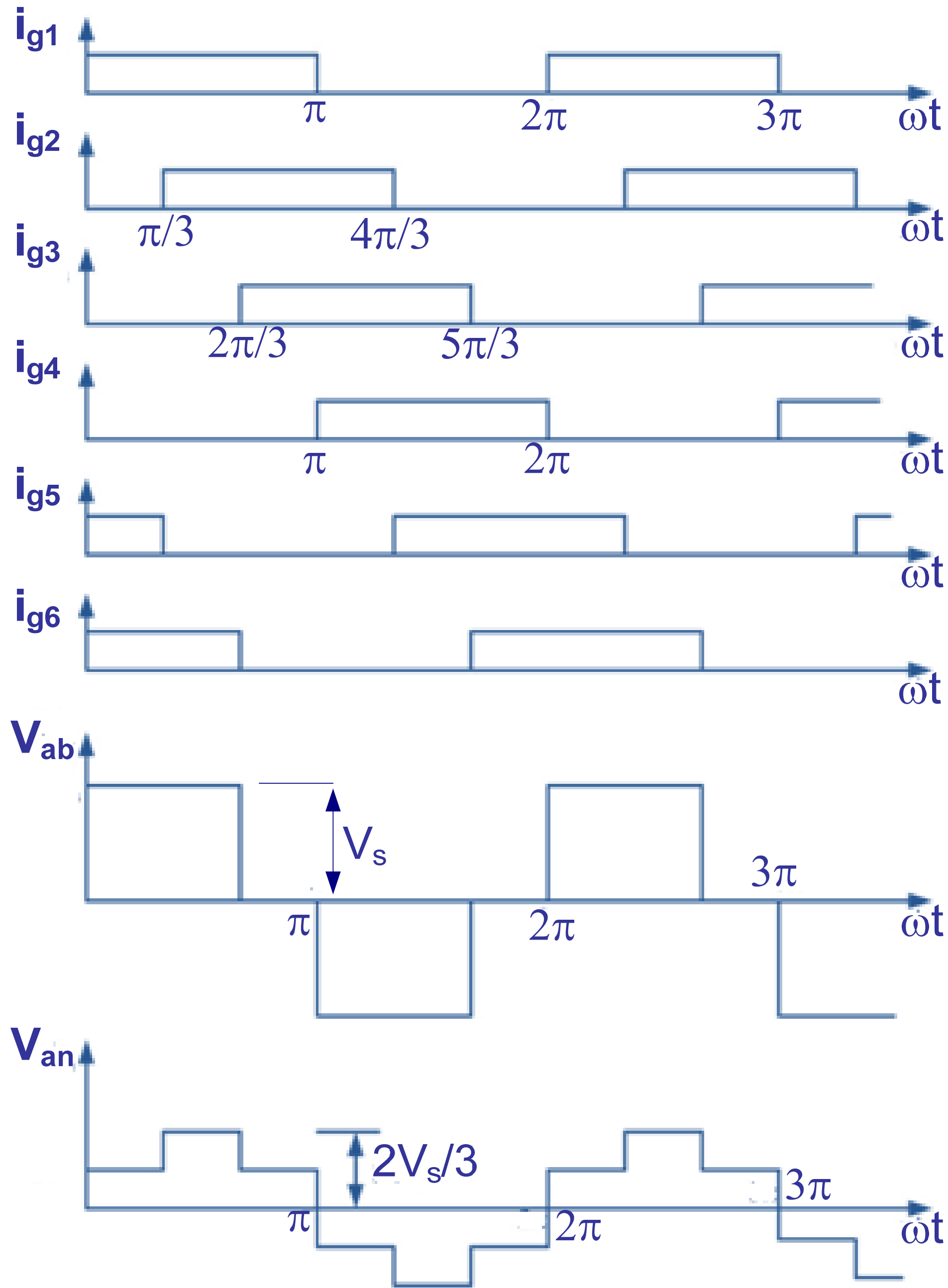
تستخدم العواكس في تنفيذ عمليات التحكم في المحركات الحثية ثلاثية الأوجه وذلك بالتحكم في الجهد المسلط على العضو الثابت أو التحكم في التردد أو التحكم في الجهد والتردد معا، ويتم ذلك باستخدام عدة أنواع من العواكس مثل العاكس ثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد الثابت (Three-phase Voltage Source Inverter) والعاكس ثلاثي الأوجه ذي النبضة متغيرة العرض (PWM Inverter)،



الشكل (5-6)

العاكس ثلاثي الأوجه

الشكل (5-6) يبين عاكساً ثلاثي الأوجه ذا مصدر جهد ويتكون من ستة موسفت وستة دايودات حيث يتم إشعال كل موسفت لمدة 180^o وفصله لمدة 180^o أخرى ويتم ذلك بالتتابع كما في الشكل (5-7) ويمكن تشغيل هذا العاكس كعاكس ست خطوات (Six Step Inverter) أو عاكس ذي نبضة متغيرة العرض (PWM Inverter).



الشكل (5-7)

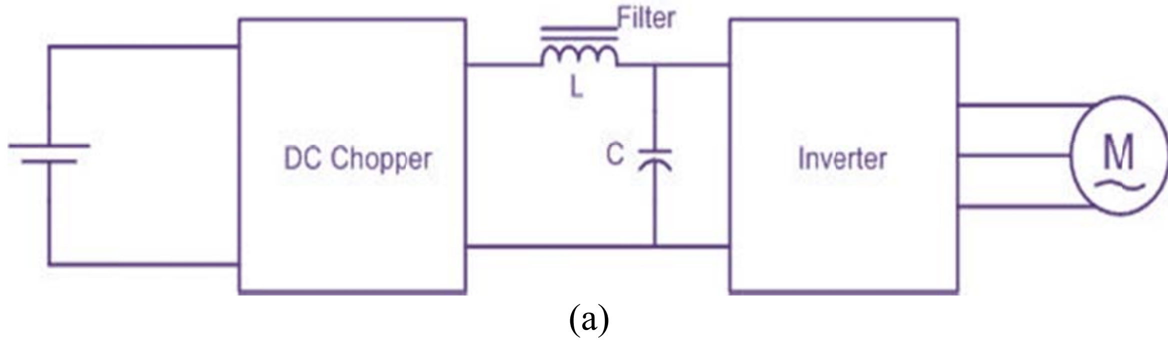
أشكال موجات التحكم والجهد الناتج من العاكس ثلاثي الأوجه ذي مصدر الجهد

يتم التحكم في التردد بتغيير مدة التشغيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في العاكس، بينما يمكن التحكم في الجهد بإحدى الطرق التالية:

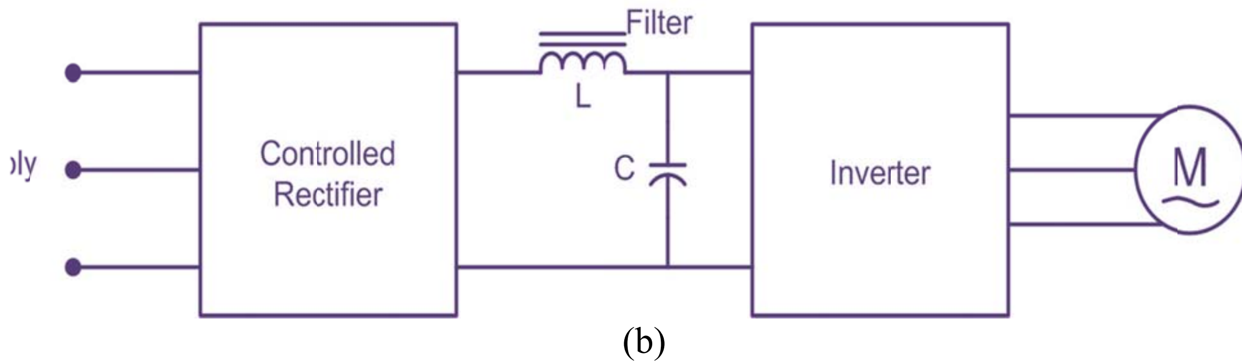
١. **التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل للعاكس:** ويتم ذلك باستخدام مصدر تيار مستمر ومقطع كما في الشكل (5-8-a)، أو باستخدام مصدر للتيار المتردد وقنطرة الموحدات المحكومة كما في الشكل (5-8-b)، كما يمكن أن يتم ذلك باستخدام

مصدر للتيار المتردد وقنطرة الموحدات غير المحكومة ومقطع التيار المستمر كما في الشكل (5-8-c).

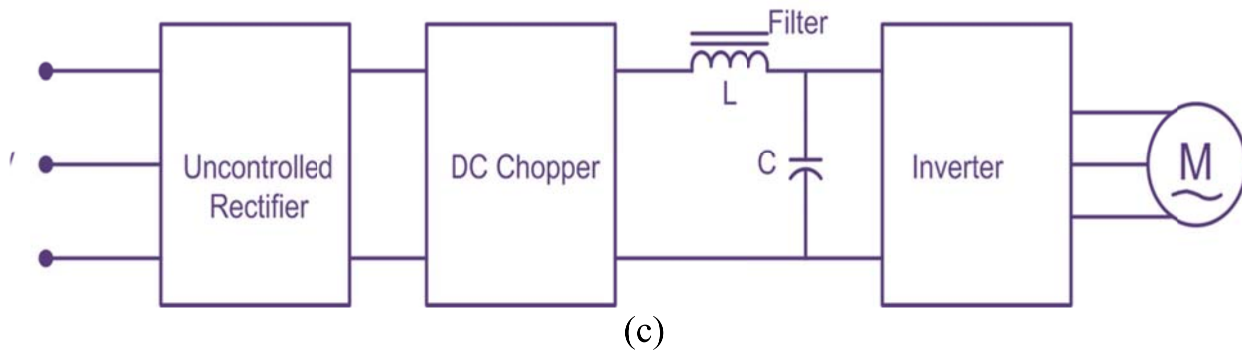
٢. **التحكم في قيمة الجهد الناتج من العاكس ذي النبضة المتغيرة العرض**: وفي هذه الحالة يمكن التحكم في كل من الجهد والتردد معا بتغيير زمن التشغيل والفصل كما في الشكل (5-9).



(a)



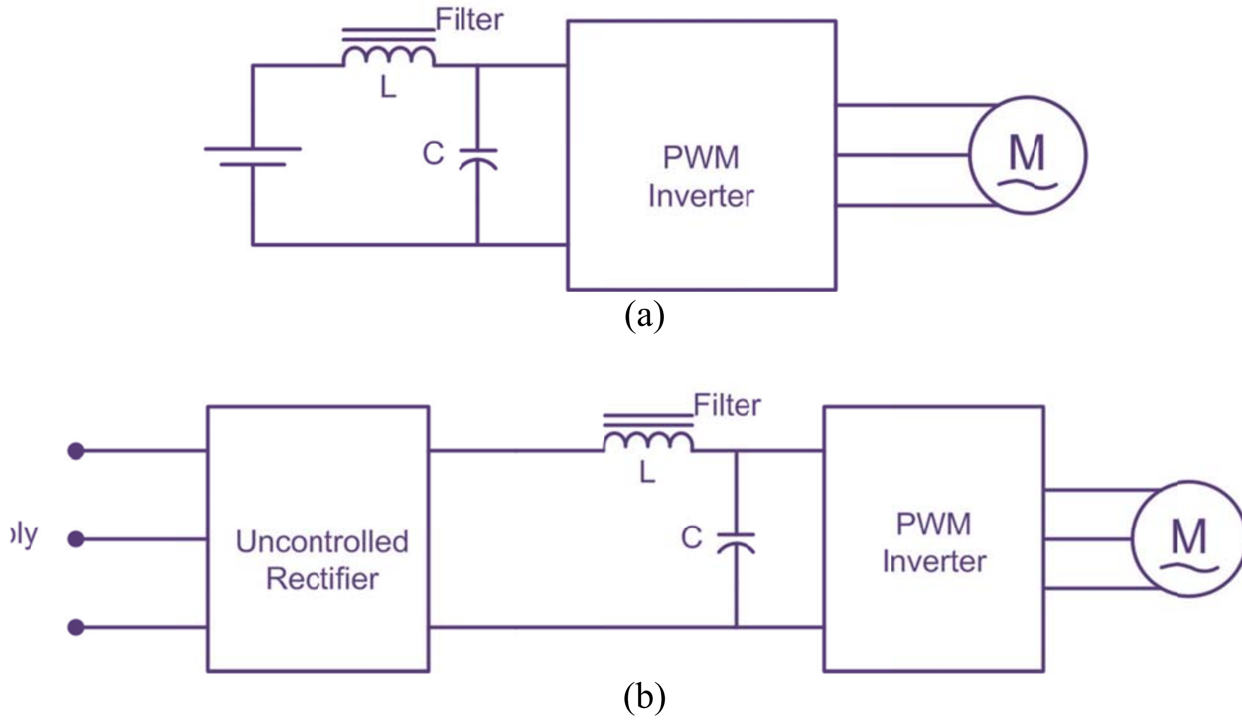
(b)



(c)

الشكل (5-8)

التحكم في جهد العاكس ذي الست خطوات بطرق مختلفة



الشكل (5-9)

التحكم في الجهد والتردد باستخدام العاكس ذي النبضة المتغيرة العرض

ثانيا التحكم في دائرة العضو الدائر

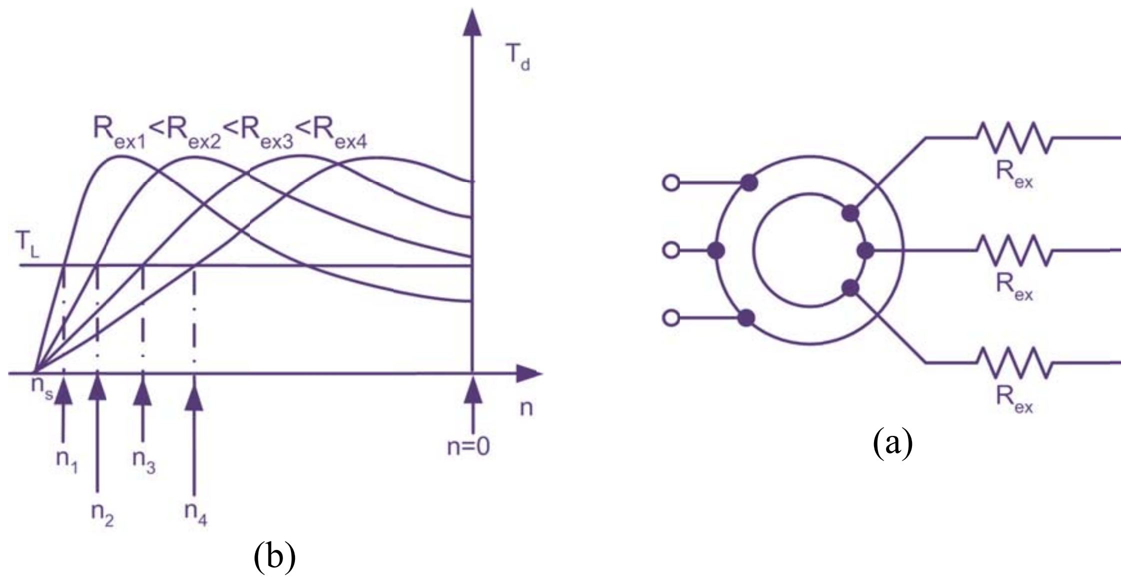
في هذه الحالة يتم التحكم في المحركات الحثية عن طريق دائرة العضو الدائر ،لذا تصلح هذه الطريقة فقط للتحكم في المحركات ذات العضو الملفوف. والمحركات ذات العضو الملفوف لها بعض العيوب مقارنة بالمحركات ذات القفص السنجابي ،مثل ارتفاع الثمن، وثقل الوزن، وكبر الحجم ،وحاجتها للصيانة الدورية ،ولكن التحكم فيها عن طريق دائرة العضو الدائر يكون أرخص، لذا تستخدم في بعض التطبيقات الصناعية المحدودة.

في المحركات الحثية يتحول جزء من القدرة في الثغرة الهوائية إلى قدرة ميكانيكية والجزء المتبقي يسمى قدرة الانزلاق (Slip Power) وتعتمد طرق التحكم عن طريق العضو الدائر على التحكم في هذه القدرة وبالتالي التحكم في القدرة الميكانيكية، ومن ثم يتم التحكم في السرعة ويمكن تلخيص طرق التحكم عن طريق دائرة العضو الدائر كما يلي:

- التحكم باستخدام المقاومة (Static Rotor Resistance Control)
- التحكم باستعادة طاقة الانزلاق (Slip Power Recovery Control)

التحكم باستخدام المقاومة (Static Rotor Resistance Control)

عند توصيل ثلاث مقاومات (R_{ex}) في دائرة العضو الدائر من خلال حلقات الانزلاق الموصلة على أطراف العضو الدائر كما في الشكل (5-10-a) فإن العزم المتولد من المحرك يمكن التحكم فيه، بتغيير قيمة المقاومة الخارجية الموصلة، ويمكن حساب قيمة العزم المتولد في هذه الحالة بعد إضافة المقاومة الخارجية لمقاومة العضو الدائر في المعادلة (5-1). الشكل (5-10-b) يوضح العلاقة بين السرعة والعزم عند قيم مختلفة للمقاومة المضافة (R_{ex}) وبالرغم من المفاقيد العالية التي تنتج عن استخدام هذه الطريقة إلا أنها تتمتع ببعض المميزات مثل البساطة، ورخص الثمن، ومعامل القدرة العالي، ومدى التحكم في السرعة الكبير، وكذلك تقليل تيار البدء، لذا تستخدم هذه الطريقة في بعض التطبيقات مثل الحفارات والأوناش.



الشكل (5-10)

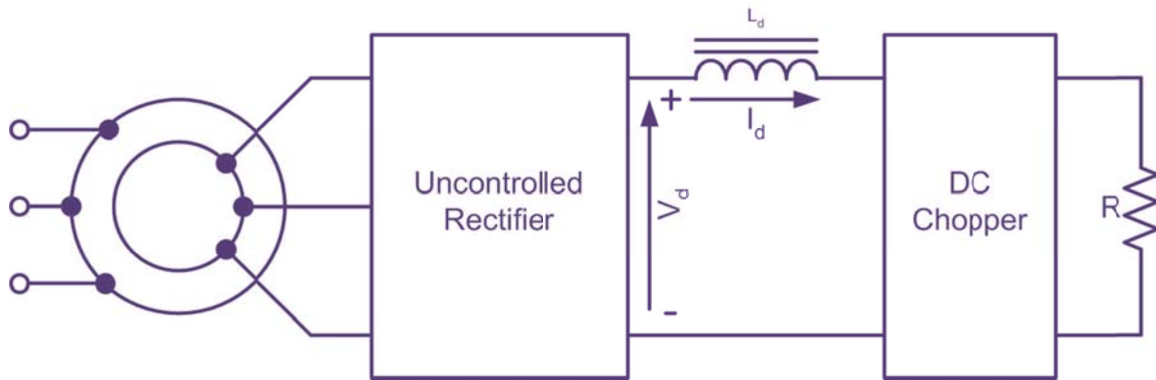
التحكم في المحرك ذي العضو الملفوف باستخدام المقاومة

ويمكن استبدال المقاومات الثلاث (R_{ex}) بمقاومة واحدة (R) ومقطع بالإضافة إلى قنطرة الموحدات كما في الشكل (5-11) وبتغيير نسبة تشغيل المقطع (k) يتم التحكم في القيمة الفعالة للمقاومة (R_e) والتي ستتغير قيمتها من (R) إذا كانت نسبة تشغيل المقطع صفر إلى صفر، إذا كانت نسبة تشغيل المقطع واحد، ويمكن إيجاد القيمة الفعالة للمقاومة عند أي نسبة تشغيل من المعادلة (5-3).

$$Re=R(1-k) \qquad (5\text{-}3)$$

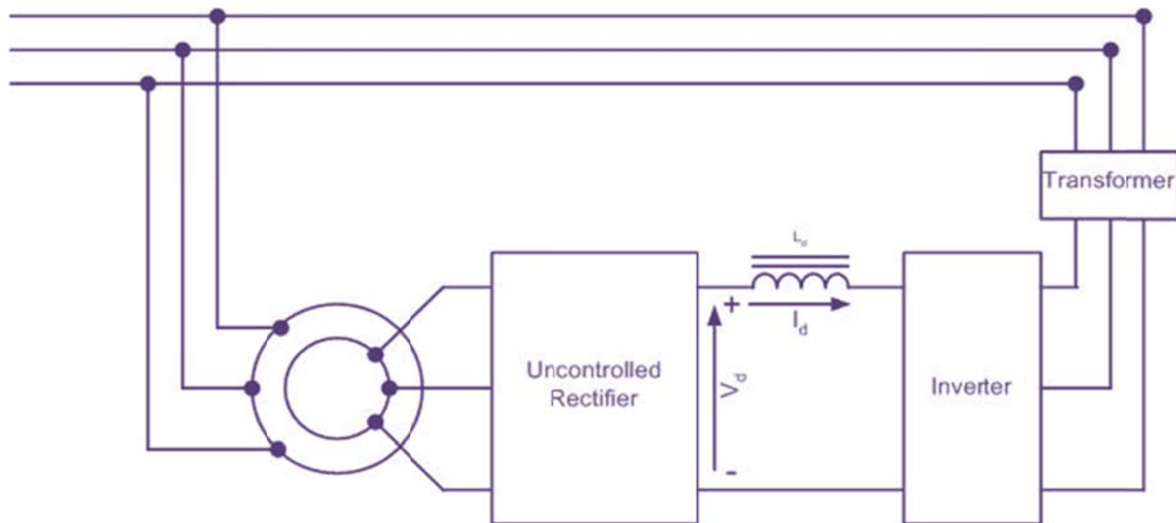
التحكم باستعادة طاقة الانزلاق (Slip Power Recovery Control)

يمكن إعادة قدرة الانزلاق إلى المصدر باستبدال مقطع التيار المستمر والمقاومة في الشكل (5-11) بمغير قدرة ثلاثي الأوجه كما في الشكل (5-12). يتم تشغيل مغير القدرة في هذه الحالة كعاكس ،حيث تكون زاوية الإشعال أكبر من 90^{o} وذلك لتحويل الجهد المستمر (V_d) إلى جهد متردد ،ومن ثم توصيله بمصدر التيار المتردد من خلال محول، وبالتحكم في قيمة زاوية إشعال الثايرستور في دائرة العاكس، يتم التحكم في قيمة قدرة الانزلاق المعادة إلى المصدر، وبالتالي في سرعة المحرك، وتعرف هذه الطريقة بطريقة كرامر الاستاتيكية.



الشكل (5-11)

التحكم في قدرة الانزلاق باستخدام مقطع



الشكل (5-12)

التحكم في المحرك الحثي باستعادة قدرة الانزلاق (طريقة كرامر الاستاتيكية)

أسئلة الوحدة الخامسة

السؤال الأول:

أ. عرف كلاً من سرعة التزامن والانزلاق.

ب. ما العوامل التي تؤثر في قيمة العزم المتولد ؟

ت. اذكر مميزات وعيوب المحرك الحثي ثلاثي الأوجه عند استخدامه كمحرك متغير السرعة.

ث. اذكر طرق التحكم في المحرك الحثي ذي القفص السنجابي واشرح اثنتين منها بالتفصيل.

ج. اذكر طرق التحكم في المحرك الحثي ذي العضو الملفوف واشرح اثنتين منها بالتفصيل.

السؤال الثاني:

ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية ، ثم اكتب العبارة الصحيحة:

- تمتاز طريقة التحكم في جهد العضو الثابت بمدى التحكم الواسع. ☐
- يتم التحكم في جهد العضو الثابت للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة . ☐
- يتم التحكم في التردد للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة. ☐
- تستخدم طريقة التحكم في التردد في عملية بدء المحركات الحثية. ☐
- طريق التحكم بثبات المجال تتم بالتحكم في الجهد والتردد معاً بحيث تكون النسبة بينهما ثابتة. ☐
- يتم التحكم في المحرك ذي القفص السنجابي بإضافة مقاومة في العضو الدائر. ☐
- تستخدم طريقة كرامر الاستاتيكية للتحكم في المحرك ذي القفص السنجابي ☐

السؤال الثالث:

أ. اشرح موضحاً بالرسم كيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في المحرك الحثي ليعمل في أربع حالات التشغيل .

ب. اشرح كيفية التحكم في الجهد باستخدام العواكس.

ت. اشرح موضحاً بالرسم طريقة كرامر الاستاتيكية للتحكم في المحرك الحثي ثلاثي الأوجه.

الوحدة السادسة

التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

الهدف العام للوحدة: اختيار الطريقة المناسبة للتحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه وتحديد الدائرة المناسبة لذلك.

الأهداف:

- أن يعرف المتدرب كيفية التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه بتغيير التردد.
- أن يعرف المتدرب كل من طريقة التحكم المنفصل والتحكم الذاتي.
- أن يعرف المتدرب كيفية استخدام العواكس في تنفيذ عملية التحكم في المحرك التزامني.

الوحدة السادسة : التحكم في المحركات التزامنية ثلاثية الأوجه

في الوحدة السابقة بدأنا في طرق التحكم في محركات التيار المتردد، حيث تناولنا كيفية التحكم في المحركات الحثية والطرق المختلفة للسيطرة على أدائها، واستكمالا لطرق التحكم في محركات التيار المتردد سنتناول في هذه الوحدة كيفية التحكم في المحرك التزامني للعمل كمحرك متغير السرعة.

تتمتع المحركات التزامنية بعدد من المميزات مقارنة بمحركات التيار المستمر والمحركات الحثية، من أهم مميزات المحرك التزامني عدم وجود الموحد (Commutator) المستخدم في محركات التيار المستمر، مما أدى إلى صغر حجم المحرك التزامني وخفة وزنة مقارنة بمثيله من محركات التيار المستمر ،وقد ساعد ذلك أيضاً على عدم وجود قيود على سرعته القصوى أو جهده أو قدرته أو أماكن استخدامه ،سواء أكانت أماكن قابلة للانفجار، أم أماكن نظيفة ،كما ساعد عدم وجود الموحد أيضاً على عدم الحاجة إلى الصيانة الدورية.

وتمتاز المحركات التزامنية (ذات العضو الملفوف أو ذات المغناطيس الدائم) بكفاءتها العالية بالمقارنة بنظيرتها في المحركات الحثية إضافة إلى أن معامل قدرتها أيضاً أعلى من المحركات الحثية.

التحكم في المحرك التزامني بتغيير التردد

يدور المحرك التزامني بسرعة ثابتة مساوية لسرعة التزامن (سرعة المجال المغناطيسي الدوار الناتج من تغذية المحرك من مصدر ثلاثي الأوجه) التي تتحدد بناء على تردد المصدر وعدد أقطاب المحرك طبقاً للمعادلة (6-1)

$$\omega = \omega_s = \frac{4\pi f}{P} \qquad (6-1)$$

حيث:

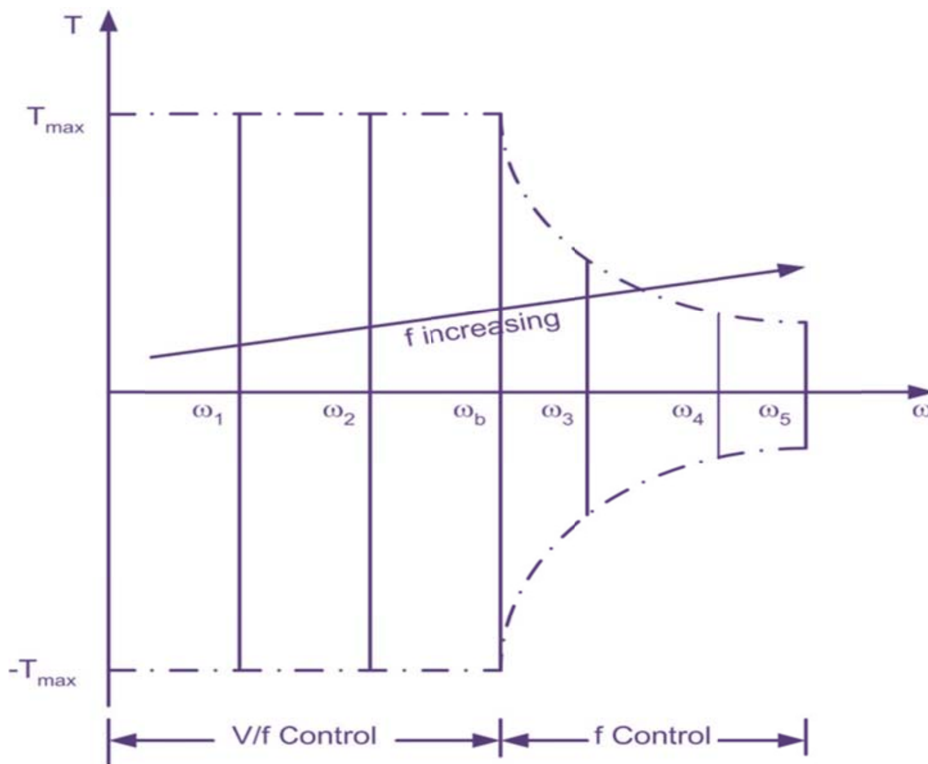
ω سرعة المحرك (rad./s)

ω_s سرعة التزامن (rad./s)

f تردد المصدر

P عدد الأقطاب

وعند تغذية المحرك التزامني من مصدر متغير التردد فإنه يعمل كمحرك متغير السرعة، لذلك فإن التحكم في سرعة المحرك التزامني تتم بتغيير التردد، وحتى نتجنب ضعف المجال المغناطيسي الناتج عن زيادة التردد أو التشبع في المجال الناتج من تقليل التردد فإن تغيير التردد يصاحبه أيضاً تغيير في الجهد، بحيث تكون النسبة بين الجهد والتردد دائماً ثابتة للحصول على مجال مغناطيسي ثابت، ولذلك فإن استراتيجية التحكم هي أن يعمل المحرك بمجال مغناطيسي ثابت (constant V/f) حتى السرعة المقننة (ω_b)، ثم يتم التحكم في التردد فقط إذا أريد الحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة (ω_b)، ويوضح الشكل (6-1) العلاقة بين السرعة والعزم للمحرك التزامني عند ترددات مختلفة، ويمكن تقسيم تلك العلاقة إلى جزأين رئيسين. في الجزء الأول من السرعة صفر إلى السرعة المقننة (ω_b)، حيث يتم التحكم بتغيير كل من الجهد والتردد (constant V/f)، والجزء الثاني عندما تكون السرعة أكبر من السرعة المقننة، ويتم فيه التحكم بتغيير التردد فقط، لذا يقل المجال المغناطيسي وبالتالي العزم.



الشكل (6-1)

العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك التزامني عند قيم مختلفة التردد

وتنقسم طرق التحكم في المحركات التزامنية عن طريق التردد إلى نوعين: هما التحكم المنفصل والتحكم الذاتي

التحكم المنفصل

في التحكم المنفصل (دائرة مفتوحة) يتم التحكم في التردد فيها بمذبذب خارجي (Independent Oscillator) وبالتالي يتم التحكم في السرعة بدقة من خلال التحكم ذي الدائرة المفتوحة، فعند زيادة التردد تدريجياً تزداد سرعة دوران المجال المغناطيسي الناتج من العضو الثابت من ω_s إلى ω_{s1} ،وينتج عن ذلك زيادة زاوية القدرة، ومن ثم تبدأ سرعة المحرك في الزيادة حتى تصل إلى سرعة التزامن الجديدة. وعند تقليل التردد تدريجياً تقل سرعة دوران المجال المغناطيسي الناتج من العضو الثابت من ω_s إلى ω_{s2} ،نتيجة لذلك تقل زاوية القدرة ،ومن ثم تقل سرعة المحرك حتى تصل إلى سرعة التزامن الجديدة.

من المناقشة السابقة يمكن أن نلاحظ أن التغير في التردد يجب أن يكون تدريجياً ،حتى نسمح لسرعة المحرك بتتبع التغير في سرعة التزامن. أما في حالة التغيير المفاجئ في التردد والذي يتبعه تغيير مفاجئ أيضاً في سرعة التزامن، فإن سرعة المحرك لا تتمكن من تتبع هذا التغير المفاجئ الذي يحدث في سرعة التزامن.

وفي حالة التغير البطيء في الحمل فهذا النوع من التحكم يتمكن من المحافظة على سرعته ثابتة ومساوية لسرعة التزامن، كما يستطيع هذا النوع من التحكم أن يحافظ على سرعة المحرك ثابتة إذا كان التغير في الحمل سريعاً وصغير القيمة، أما في حالة التغير السريع عالي القيمة فإن المحرك يفقد حالة الاتزان، لذلك لا يصلح هذا النوع من التحكم في ظروف التشغيل التي تتطلب تغيرات مفاجئة في السرعة ،أو التي تحتوي أحمالاً تتغير بصورة مفاجئة وبقيم عالية، وفي هذه الحالة نلجأ إلى التحكم الذاتي

التحكم الذاتي

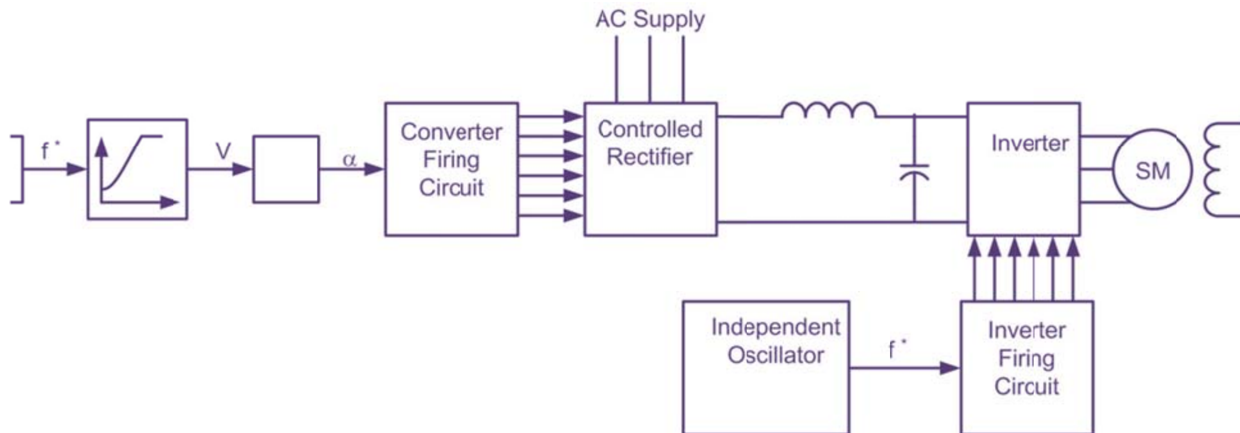
تعاني أنظمة التدوير الكهربائي التي تحتوي على محركات تزامنية ذات التحكم المنفصل من بعض العيوب ،مثل تعرضها لعزوم نبضيه أثناء تغير التردد ،وفي بعض الأحيان يفقد المحرك حالة الاتزان، ويمكن التخلص من هذه العيوب بالتحكم الذاتي في المحرك. ويستخدم المحرك التزامني في هذه الحالة في العديد من التطبيقات الصناعية ذات القدرات العالية التي تصل إلى عشرات الميجاوات ،والتطبيقات التي تحتاج إلى سرعات عالية، مثل

الضواغط، والمراوح، والطائرات ،كما تستخدم في السرعات المنخفضة في مصانع الإسمنت والمناجم.

وفي حالة التحكم الذاتي يتم التحكم على شكل دائرة مغلقة ولا نحتاج إلى مذبذب خارجي لتحديد التردد المطلوب، فعندما تتغير سرعة المحرك فإن تردد المصدر يتغير أيضاً بما يضمن دوران المجال المغناطيسي الناتج من تغذية ملفات العضو الثابت من المصدر بنفس سرعة العضو الدوار، وهذا يؤكد أن المجال المغناطيسي الناتج من العضو الثابت ،والمجال المغناطيسي الناتج من العضو الدوار يكونان دائماً متزامنين عند كل نقاط التشغيل المختلفة، ويترتب على ذلك أن لا يعاني المحرك من العزوم النبضيه أو الاهتزازات أو عدم الاتزان الناتج من التغير المفاجئ في عزم الحمل أو التردد عندما يتم التحكم فيه بمذبذب منفصل. ولضمان دقة تتبع التردد للسرعة يستخدم حساس لتحديد وضع العضو الدوار بدقة، وبناء على ذلك يتم توليد نبضات إشعال عناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في بناء العاكس المستخدم في تغذية المحرك، وعلى ذلك يكون التردد متناسباً مع سرعة المحرك الفعلية.

التحكم في المحركات التزامنية باستخدام العواكس

تستخدم العواكس لتنفيذ عمليات التحكم في المحركات التزامنية التي سبق شرحها في هذه الوحدة. الشكل (6-2) يوضح الرسم التخطيطي لكيفية استخدام عاكس ذي مصدر جهد لتنفيذ عملية التحكم المنفصل (التحكم ذي الدائرة المفتوحة) في المحرك التزامني. وتتكون الدائرة من المحرك المراد التحكم فيه والموحد المحكوم والعاكس ذي مصدر الجهد ثلاثي الأوجه ووحدة إشعال للموحد وأخرى للعاكس بالإضافة إلى المذبذب.

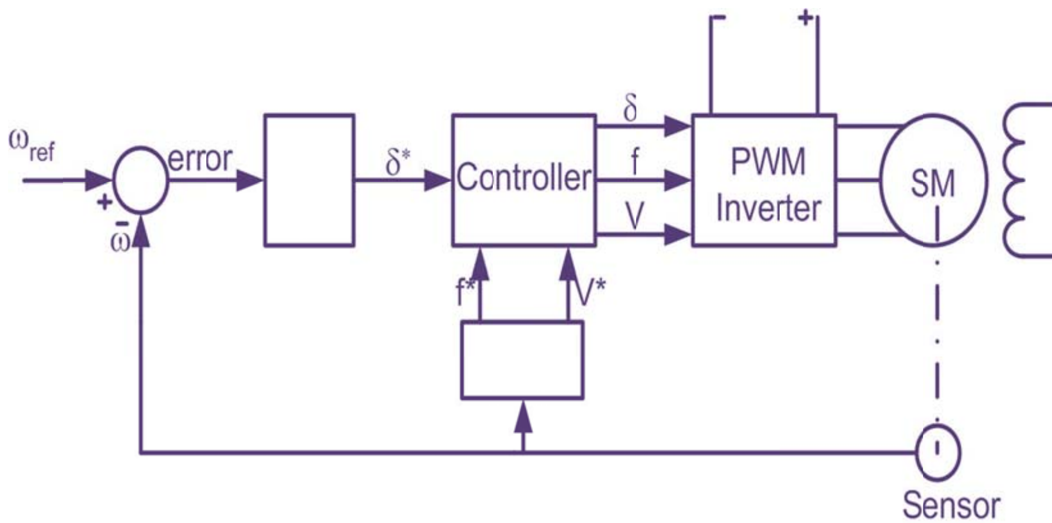


الشكل (6-2)

التحكم المنفصل (ذو الدائرة المفتوحة) للمحرك التزامني

بناء على السرعة المطلوبة يتولد التردد من المذبذب، ثم يتحدد الجهد المطلوب بما يضمن ثبات المجال المغناطيسي إذا كانت السرعة أقل من السرعة المقننة أو أن يساوي الجهد المقنن إذا كانت السرعة أكبر من السرعة المقننة، وبتحديد التردد يتم توليد النبضات اللازمة للعاكس عن طريق وحدة إشعال العاكس، وبتحديد الجهد يتم تحديد زاوية الإشعال ومن ثم النبضات اللازمة للموحد المحكوم من وحدة إشعاله.

الشكل (3-6) يوضح الرسم التخطيطي لدائرة للتحكم الذاتي في المحرك، وتتكون من المحرك المراد التحكم فيه ،والحاكم والعاكس ذي النبضة المتغيرة العرض ،وحساس وضع العضو الدائر ،وكما يتضح من الرسم إذا تغيرت السرعة المطلوبة (ω_{ref}) فإن الخطأ في السرعة (الفرق بين السرعة المطلوبة والسرعة المقاسة بمساعدة الحساس) يزداد، مما يؤدي إلى زيادة زاوية القدرة ،وبالتالي يزيد العزم المتولد ،ومن ثم تزداد سرعة المحرك، وتعتمد قيمة الخطأ في السرعة على نوع الحاكم المستخدم ،ويمكن ملاحظة أن السرعة تتغير بناء على تغير زاوية القدرة وليس بناء على تغير التردد كما في حالة التحكم المنفصل.



الشكل (3-6)

التحكم الذاتي (ذو الدائرة المغلقة) للمحرك التزامني

أسئلة الوحدة السادسة

السؤال الأول:

أ. ما مميزات المحرك التزامني مقارنة بالمحرك الحثي ؟

ب. ما مميزات المحرك التزامني مقارنة بمحرك التيار المستمر ؟

ت. ارسم العلاقة بين العزم والسرعة للمحرك التزامني عند التحكم في السرعة من صفر إلى ضعف السرعة المقننة.

السؤال الثاني:

أ. اشرح موضحاً بالرسم طريقة التحكم المنفصل في المحرك التزامني

ب. اشرح موضحاً بالرسم طريقة التحكم الذاتي في المحرك التزامني

المراجع

المؤلف	اسم المرجع
Austin Hughes, Heinemann Newnes	Electric Motor and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 1990
Gopal K. Dubey	Power Semiconductor Controlled Drives *Prentice Hall*, 1989 ISBN:0-13-686890-8
M. H. Rashid	Power Electronics: Circuits, Devices and applications *Prentice Hall*, 2004
W. Shepherd, L. M. Hulley, and D. T. W. Liang	Power Electronics and Motor Control *Cambridge*, 1995
A.E. Fitzgerald, Charles Kingsely, Jr . and Stephen D. Umans	Electric Machinery Sixth Edition,2003 McGraw-Hill